

**Sinne ja takaisin**  
**— aikuisten peltosirkkukoiraiden (*Emberiza hortulana* Linnaeus, 1758)**  
**elossasäilyvyys Suomessa vuosina 2013–2019**

Ekologian ja evoluutiobiologian maisterintutkielma

Bio- ja ympäristötieteellinen tiedekunta

Inari Nousiainen

Toukokuu 2020



Tiedekunta – Fakultet – Faculty Bio- ja ympäristötieteellinen tiedekunta		Koulutusohjelma – Utbildningsprogram – Degree Programme Ekologian ja evoluutiobiologian maisteriohjelma	
Tekijä – Författare – Author Inari Nousiainen			
Työn nimi – Arbetets titel – Title Sinne ja takaisin — aikuisten peltosirkkukoiraiden ( <i>Emberiza hortulana</i> Linnaeus, 1758) elossasäilyvyys Suomessa vuosina 2013–2019			
Oppiaine/Opintosuunta – Läroämne/Studieinriktning – Subject/Study track Ekologia ja evoluutiobiologia			
Työn laji – Arbetets art – Level Pro gradu -tutkielma		Aika – Datum – Month and year Toukokuu 2020	Sivumäärä – Sidoantal – Number of pages 39
Tiivistelmä – Referat – Abstract <p>Viime vuosikymmenien maaseutuympäristöjen muutokset, kuten lisääntynyt maankäytön tehostuminen ja kasvinsuojeluaineiden käyttö, ovat saaneet monet Euroopan maaseutuympäristöjen lintujen kannat taantumaan. Jotta lintukantojen muutoksia voitaisiin ymmärtää ja suojelutoimia suunnitella, on lintujen elämänsykliin eri vaiheiden, kuten pesimämenestyksen ja elossasäilyvyyden, sekä selviytymiseen vaikuttavien tekijöiden tutkiminen tärkeää. Myös Suomessa maaseutuympäristöjen linnuston tutkimukselle on tarvetta: uusimmassa Suomen luonnon uhanalaisuusarvioinnissa (2019) uhanalaisia tai silmälläpidettäviä maatalousympäristöjen lintulajeja oli 18, mikä on neljä enemmän kuin neljä vuotta aiemmassa arvioinnissa. Yksi näistä on Suomen voimakkaimmin taantunut maallintulaji, peltosirkku (<i>Emberiza hortulana</i>), jonka kanta on kutistunut 80-luvulta alle yhteen prosenttiin.</p> <p>Tämän tutkielman tavoitteena on selvittää yksilöllisin tunnistein merkittyjen lintujen avulla, onko Suomen aikuisten peltosirkkukoiraiden elossasäilyvyys ollut vuosina 2013–2019 poikkeavan matala, mikä voisi selittää lajin kantojen voimakasta laskua. Tavoitteena on myös tarkastella elossasäilyvyyden vuosittaista ja alueellista vaihtelua, peltosirkkujen kannankehityslukuja, sekä selvittää vaikuttivatko muuttokäyttäytymisen tutkimista varten kiinnitetyt valopaikantimet (loggerit) elossasäilyvyyteen. Tutkielman aineisto on kerätty vuosina 2013–2019 niiltä alueilta, joilla peltosirkun on havaittu pesivän. Aineisto koostuu 210 aikuisen (+1kv; vanhempi kuin ensimmäistä kalenterivuottaan elävä lintu) peltosirkun pyynti-jälkeenpyynti-aineistosta, jota käyttäen tehtiin elossasäilyvyysanalyysejä, sekä peltosirkkujen reviirikartoituksesta, jota käytettiin kannankehityslukujen laskemiseen.</p> <p>Elossasäilyvyysanalyysejä tehtiin käyttäen CJS -mallia (Cormack-Jolly-Seber) MARK -ohjelmassa. Analyysia varten aineistosta poistettiin naaraat, paikkaansa vaihtaneet peltosirkut ja Itä-Suomen vaillinaisesti seuratut yksilöt, sekä muodostettiin kaksi pääanalyyseä: koko Suomen analyysi ja alueellinen analyysi. Koko Suomen analyysissä tarkasteltiin, oliko loggerilla vaikutusta linnun elossasäilyvyyteen ja vaihteliko elossasäilyvyys vuosien välillä. Alueellisessa analyysissä Suomen peltosirkut jaettiin kolmeen alueeseen: pohjoiseen, lounaiseen ja eteläiseen. Analyysissä tarkasteltiin, onko elossasäilyvydessä eroa alueiden välillä ja vaihteleeeko elossasäilyvyys vuosien välillä. Lopuksi laskettiin R-ohjelmiston Rtrim -paketilla kannankehitysluvut koko Suomelle sekä alueellisissa analyyseissä käytetyille kolmelle alueelle.</p> <p>Analyyisin tulos oli että Suomen peltosirkkukoiraiden elossasäilyvyys vuosina 2013–2019 oli 43,3 % koko tutkimusjaksolle. Loggeri vaikutti negatiivisesti elossasäilyvyyteen, mutta alueiden tai vuosien välillä ei ollut merkitsevää vaihtelua. Kannankehitysluvut olivat laskusuuntaisia ja niissä oli alueiden välillä merkitseviä eroja. Koko Suomessa kanta laski 19,4 % vuodessa. Alueista suurin lasku oli lounaassa, jossa kanta laski 26,5 % vuodessa. Suomen peltosirkkukoiraiden elossasäilyvyysanalyysin tulosta verrattiin muiden samankokoisten (10–40g) pitkän matkan muuttavien varpuslintujen julkaistuihin elossasäilyvyyslukuihin (41,9–58,0 %; 15 eri lajia). Vertailun perusteella Suomen peltosirkkukoiraiden elossasäilyvyys ei ole ollut poikkeavan matala, eikä siten vaikuta olevan ainakaan tärkein voimakasta kannanlaskua selittävä tekijä.</p> <p>Tämän tutkielman tulosten mukaan Suomen peltosirkkujen kannanlaskun taustalla on luultavimmin muita tekijöitä kuin aikuisten koiraiden elossasäilyvyys, kuten aikuisten naaraiden tai nuorten lintujen (ensimmäistä kalenterivuottaan elävät linnut) kestävyys suuri kuolleisuus tai kestäväle populaatiokehitykselle liian heikko pesimätulos. Elossasäilyvydessä ei havaittu myöskään alueellisia vaihteluita, mutta kannankehitysluvuissa näin oli, minkä perusteella ainakin jotkin populaatiokokoa säätelevät tekijät ilmenevät joillakin pesimäalueilla voimakkaammin kuin toisilla. Näin ollen eritoten pesintämenestykseen vaikuttavia tekijöitä kannattaisi kiireellisesti tutkia, jotta peltosirkun kannankehityksen suunta saataisiin tietoon perustuvan suojelusuunnitelman avulla käännettyä.</p>			
Avainsanat – Nyckelord – Keywords Peltosirkku, <i>Emberiza hortulana</i> , lintujen ekologia, elossasäilyvyysanalyysejä, populaatiobiologia, maaseutuympäristö			
Ohjaaja tai ohjaajat –Handledare – Supervisor or supervisors Markus Piha			
Säilytyspaikka – Förvaringställe – Where deposited Viikin tiedekirjasto, Ekologian ja evoluutiobiologian osaston käsikirjasto			
Muita tietoja – Övriga uppgifter – Additional information			

# Sisällysluettelo

1. JOHDANTO.....	1
1.1. Lintujen elossasäilyvyyteen vaikuttavat tekijät ja niiden tutkiminen.....	2
1.2. Peltosirkun elämä ja teot.....	4
1.3. Peltosirkut ahdingossa.....	5
1.4. Tutkielman tavoitteet ja hypoteesit.....	7
2. AINEISTO JA MENETELMÄT.....	8
2.1. Aineisto.....	8
2.1.1. Aineiston käsittely.....	10
2.1.2. Tutkimuseettiset kysymykset.....	13
2.2. Menetelmät.....	14
2.2.1. Elossasäilyvyysanalyysi.....	14
2.2.2. Analyysimallien rakentaminen.....	14
2.2.3. Alueelliset kannanmuutosindeksit.....	16
3. TULOKSET.....	17
3.1. Mallien valinta.....	17
3.1.1. Koko Suomen elossasäilyvyysanalyysin mallien valinta.....	17
3.1.2. Alueellisen elossasäilyvyysanalyysin mallien valinta.....	18
3.2. Valittujen mallien tulokset.....	19
3.2.1. Koko Suomen mallien tulokset.....	19
3.2.2. Alueellisten mallien tulokset.....	21
3.3. Alueellisen kannankehityksen tulokset.....	23
4. TULOSTEN TARKASTELU.....	23
4.1. Koiraiden elossasäilyvyys ei ole populaation pienentymisen takana.....	24
4.2. Peltosirkun kutistuva maailma.....	26
4.3. Loggerin vaikutus peltosirkkukoiraiden elossasäilyvyyteen ja muita mahdollisia virhelähteitä.....	28
4.4. Johtopäätökset — katse pesimäseutuihin.....	29
6. KIITOKSET.....	30
7. LÄHDEVIITTEET.....	31

# 1. JOHDANTO

Monien maaseutu ympäristöissä elävien lintujen kannat ovat vähentyneet Euroopassa viime vuosikymmeninä (Gregory ym. 2019). Pääsääntöisesti maatalousalueilla esiintyvistä lintulajeista 58 %:lla kannat laskivat 1990–2000 välisenä aikana (Bommel ym. 2004). Merkittävin yksittäinen kannanlaskuun yhdistetty tekijä on maanviljelyksen tehostuminen (Donald ym. 2001). Tehostumisen myötä tapahtuneet maaseutu ympäristöjen muutokset ja muun muassa lisääntynyt väkilannoitteiden sekä kasvinsuojeluaineiden käyttö ovat vaikuttaneet negatiivisesti monien maaseudun lintujen kantoihin (EU-maat: Donald ym. 2006; Suomi: Piha 2007). Samalla pieni osa lajeista on hyötynyt maaseutu ympäristön muutoksista, ja joidenkin kannat ovat jopa kasvaneet (Donald ym. 2006).

Suomessa maaseutu ympäristöissä pesivien lintujen kannanmuutokset olivat 1900-luvun lopulla vaihtelevia; osa lajeista runsastui, osa taantui ja joidenkin kannoissa ei tapahtunut merkitseviä muutoksia (Tiainen ym. 2004b). 2000-luvulla maatalous ympäristön linnustossa on pääsääntöisesti ollut nouseva suuntaus ja iso osa lajeista on runsastunut. Osa lajeista on kuitenkin jatkanut taantumistaan (Tiainen ym. 2014). Yhteistä taantuneille lajeille on viherpeippoa lukuunottamatta hyönteisten ja muiden selkärangattomien suuri merkitys ravinnonlähteenä. Uusimmassa Suomen luonnon uhanalaisuusarvioinnissa uhanalaisia tai silmälläpidettäviä maatalous ympäristöjen lintulajeja oli 18, mikä on neljä enemmän kuin neljä vuotta aiemmassa arvioinnissa (Tiainen ym. 2019).

Jotta kannanmuutosten syitä voitaisiin ymmärtää ja suojelutoimia suunnitella, on lintujen elämänkierron eri vaiheiden, kuten pesimämenestyksen ja elossasäilyvyyden sekä selviytymiseen vaikuttavien tekijöiden tutkiminen tärkeää (Newton 1979, Verner ym. 1992, Lebreton ym. 1993). Tulosten avulla voidaan ymmärtää laajemmin ympäristön muutosten vaikutuksia eliöyhteisöihin, sillä linnut ovat hyviä biodiversiteetin ja ympäristönmuutosten indikaattoreita: niistä on laadukkaita ja pitkäaikaisia havainnointiaineistoja, niiden ekologia tunnetaan hyvin ja ne reagoivat ympäristönmuutoksiin kohtuullisella ajallisella ja tilallisella asteikolla (Morrison 1986, EEA 2005, Gregory ym. 2005).

Tässä tutkielmassa kuvataan tyypillisen maatalous ympäristön linnun, peltosirkun (*Emberiza hortulana*), Suomen populaatioiden aikuisten koiraiden elossasäilyvyyttä vuosina 2013–2019. Tavoitteena on selvittää, onko Suomen aikuisten peltosirkkukoiraiden elossasäilyvyys ollut viime vuosina poikkeavan matala, mikä voisi selittää lajin kannoissa havaittua voimakasta laskua.

### **1.1. Lintujen elossasäilyvyyteen vaikuttavat tekijät ja niiden tutkiminen**

Lintujen populaatioiden kokoon vaikuttavat tekijät voidaan jakaa ulkoisiin eli ympäristöstä johtuviin tekijöihin ja sisäsyntyisiin eli demografisiin prosesseihin (esim. Newton 1998). Ulkoisiin tekijöihin kuuluvat sääolosuhteet, resurssit, ihmistoiminnan vaikutus, kilpailu niin lajien välillä kuin lajin sisällä sekä pedot, loiset ja patogeenit. Ulkoiset tekijät vaikuttavat sisäsyntyisiin populaatioprosesseihin, jotka ovat syntyvyys ja kuolleisuus sekä paluu- ja poismuutto (immigraatio ja emigraatio). Usein ulkoiset tekijät ovat perimmäinen syy populaation koon muutokseen, mutta varsinainen tapahtuma on sisäsyntyinen prosessi. Esimerkiksi ravinnon vähyys voi ajaa linnut muuttamaan paremmille seuduille ja näin paikallinen populaatio pienenee.

Tekijät, jotka aiheuttavat eniten kuolleisuutta, eivät välttämättä ole niitä, jotka lopulta määrittävät populaation yksilömäärän: esimerkiksi poikasten suuri kuolleisuus ei välttämättä johda populaation romahdukseen, jos aikuiskuolleisuus samalla vähenee. Usein tekijät myös vaikuttavat yhdessä tai yksi tekijä voi kumota toisen vaikutuksen. Toisinaan tekijän vaikutus voi olla populaation kannalta lopulta positiivinen, esimerkiksi jos huono sää tappaa vain jo valmiiksi sairaat yksilöt, ja resursseja jää enemmän terveiden ja tehokkaasti lisääntyvien yksilöiden käyttöön. Populaatioiden kokoa säätelevien tekijöiden vuorovaikutussuhteet ovat usein monimutkaisia ja kannanmuutosten perimmäisten syiden selvittäminen vaatii tavallisesti monipuolista ja työlästä populaatiotutkimusta (Newton 1998).

Häiriöttömissä ympäristöissä useimpien lintulajien populaatiot saattavat vaihdella vuodesta toiseen, mutta pysyvät lopulta suhteellisen vakaina, mikä on merkki tiheysriippuvien tekijöiden, eli populaatiotiheyden vaihtelun mukaan eri tavoin vaikuttavien tekijöiden, aiheuttamasta säätelystä (Lack 1954). Lähes minkä tahansa tekijän vaikutus voi riippua tiheydestä, mutta toisinaan vaikutus voi olla liian heikko tai toisen, tiheydestä riippumattoman tekijän kumoama, jotta sillä olisi tasapainottava vaikutus. Jotkin tekijät myös vaikuttavat tiheysriippuvasti vain yhdessä toisten tekijöiden kanssa (Newton 1998, Rodenhouse ym. 2003).

Monilla lintulajeilla tärkeä tiheydestä riippuva säätelevä tekijä on ravinnon määrä ja laatu (Lack 1966). Tiheydestä riippuvat tekijät voivat vaikuttaa populaation yksilöihin linnun iästä ja vuodenajasta riippuen (Lok ym. 2013). Myös elossasäilyvyyden on havaittu vaihtelevan vuodenaikojen mukaan, sen ollessa alimmillaan muuttomatalla ja

talvehtimisseuduilla (Barbraud & Weimerskirch 2003, Leyrer ym. 2013, Sillett & Holmes 2002).

Muuttolintujen kantojen koon säätelyn tutkiminen on usein haastavaa, sillä niiden populaatioihin vaikuttavat olosuhteet niin lisääntymis-, talvehtimis- kuin muuttoalueilla. Esimerkiksi monien Euroopan Saharan eteläpuolisessa Afrikassa talvehtivien eurooppalaisten varpuslintujen populaatioiden on havaittu vaihtelevan Afrikan sateiden ja ravintotilanteen mukaan (Winstanley 1974, Peach ym. 1991, Szép 1995, Bryant & Jones 1995). Muuttomatalla muun muassa säät vaikuttavat lintujen selviytymiseen, sillä varsinkin nuoret ja kokemattomat linnut saattavat huonolla säällä eksyä, mikä voi johtaa lisääntyneeseen kuolleisuuteen (Elkins 2010). Nuorten lintujen (1kv; ensimmäistä kalenterivuottaan elävien lintujen) elossasäilyvyyden on ylipäättään havaittu olevan alempi kuin vanhempien lintujen (Lack 1954, Siriwardena ym. 1998, Sillett & Holmes 2002, Thomson ym. 1999) ja samoin naarailla on usein koiraita alempi elossasäilyvyys (Lack 1954, Breitwisch 1989, Siriwardena ym. 1998, Donald 2007). Eritoten aikuisten lintujen (+1kv; vanhempien kuin ensimmäistä kalenterivuottaan elävien lintujen) kuolevuutta lisääviä tekijöitä ovat esimerkiksi ravinnon määrä ja laatu, saalistus, metsästys, elinympäristöjen tuhoutuminen ja saastuminen sekä taudit (Newton 1998).

Lintujen elossasäilyvyyden tutkimiseen yksi tehokkaimmista tavoista on pyydystää lintuja, merkitä ne yksilöllisin tunnistein ja seurata vuosittain usean vuoden ajan havaitaanko niitä uudestaan. Tätä kutsutaan pyynti-jälleenpyyntimenetelmäksi (*mark-recapture -method*; Lebreton ym. 1993).

Menetelmän haasteena on se, että jos merkittyä lintua ei havaita seuraavana vuonna, ei voida olla varmoja siitä onko se kuollut vai vain siirtynyt muualle. Näin ollen tutkimuksissa keskitytään yleensä todellisen elossasäilyvyyden sijaan nk. näennäisen elossasäilyvyyden (*apparent survival*) tutkimiseen. Näennäinen elossasäilyvyys on yhdistelmä linnun todellista elossasäilyvyyttä ja todennäköisyyttä sille, että lintu on palannut takaisin tutkimuspopulaatioon eikä dispersoinut muualle. Elossasäilyvyyttä tutkiessa on kannattavaa arvioida myös uudelleenhavainnointia (*recapture*), eli todennäköisyyttä sille, että populaatioon palannut lintu on havaittu (Lebreton ym. 1992).

Yksilöllisen merkitsemisen lisäksi lintuja voidaan tutkia kiinnittämällä niihin lähettämiä tai paikantimia, joiden antaman datan perusteella saadaan tietoa linnun liikkeistä (Robinson ym. 2009, Newton 2010). Esimerkiksi valopaikantimet eli loggerit (*light level geolocators*) ovat pienten muuttolintujen kohdalla hyvä ja usein ainoa tapa tutkia muuttoaikaista käyttäytymistä. Loggerien kohdalla haasteena on niiden mahdollisesti

elossasäilyvyyttä alentava vaikutus (Arlt ym. 2013, Brlík ym. 2020), mikä on syytä ottaa huomioon käytettäessä niitä tutkimuksessa.

## 1.2. Peltosirkun elämä ja teot

Peltosirkku (*Emberiza hortulana*) on pienikokoinen (20–27 g), sirkkujen heimoon kuuluva varpuslintu, pitkän matkan muuttaja, joka pesii Euraasian länsiosissa ja muuttaa talveksi Saharan eteläpuoliseen Afrikkaan. Se suosii pesimäseutuina aukeita, paahteisia, puusto- tai pensaslaikkujen täplittämiä seutuja, kuten maanviljelysalueita, puustoisia aroja tai pensaikkoisia vuorenrinteitä. Se ei erityisemmin viihdy laajojen vesistöjen luona, tiheän ihmisasutuksen lähistöllä tai alueilla joilla on runsas sadanta, mutta ei suoranaisesti välttele näitä seutuja (Cramp & Perrins 1994).

Peltosirkku ruokailee ja pesii maassa, mutta laulaa jollakin elinympäristössään olevalla korkeammalla paikalla kuten puussa, sähkölangalla, ladon katolla tai esimerkiksi kivellä tai pensaalla latvassa (Vepsäläinen ym. 2007). Peltosirkkujen ruokavalio koostuu pesimäaikana pitkälti selkärangattomista, mutta ne syövät myös kasvien siemeniä ja muita osia etenkin pesimäaikaisten ulkopuolella (Cramp & Perrins 1994).

Peltosirkku on paikkauskollinen ja palaa yleensä keväisin takaisin edellisvuoden pesimäalueelle (Dale ym. 2005, Jiguet ym. 2019b). Koiraiden paikkauskollisuus on yleisempää mitä vanhemmaksi peltosirkku tulee, kun taas naaraat ja nuoret koiraat ovat herkempiä vaihtamaan pesimäaluetta (Dale ym. 2005).

Pesimäkauden alussa peltosirkkua viehättävät kasvipeitteettömät pellot, sillä ilmeisesti ne soveltuvat lajityypillisen siemen- että hyönteisravinnon etsimiseen paremmin kuin kasvipeitteiset pellot. Pesän peltosirkku tekee kuitenkin mieluiten pidemmän kasvillisuuden sekaan, kuten kesantopeltoon tai pientareelle. Peltosirkku voi toisinaan pesiä myös hakkuuaukeilla jopa kaukana viljelysalueista (Valkama ym. 2011). Peltosirkku viihtyy parhaiten suurilla peltoalueilla, joilla aukeita rikkovat pensaiden tai puiden reunustamat ojat, pensasryhmät, isot yksittäiset puut, ladot tai isot kivet (Vepsäläinen ym. 2005).

Peltosirkku muodostaa keväisin lauluryhmiä ja nämä ryhmät houkuttelevat alueelle muitakin lintuja (Vepsäläinen ym. 2007). Lauluryhmistä muodostuu löyhiä pesimäkolonioita, joissa on yleensä 2–15 pesivää paria (M. Piha & T. Seimola, julkaisematon aineisto) ja usein myös pariutumattomat linnut ovat kolonioiden lähellä. Peltosirkku on pääsääntöisesti monogaminen ja pariutuu useimmiten yhdeksi kesäksi kerrallaan. Pari pesii yhden kerran pesimäaikana ja molemmat emot osallistuvat poikasten hoitoon, tosin naaraat hoitavat

pesänrakennuksen ja haudonnan (Cramp & Perrins 1994). Peltosirkku munii noin 3–6 harmaata tai punaharmaata mustatäpläistä ja -viiruista munaa, joita se hautoo 11–12 vrk. Pesäpoikasaika kestää 10–12 vrk (Gidstam ym. 1994).

Peltosirkun pesimäalue kattaa suurimman osan Eurooppaa ja jatkuu siitä kapeana vyöhykkeenä Keski-Aasian halki aina Mongoliaan saakka (Cramp & Perrins 1994). Se saapuu pesimäseuduilleen talvehtimisalueiltaan Saharan eteläpuoleisesta Afrikasta toukokuussa ja lähtee takaisin elo-syyskuussa (Cramp & Perrins 1994, Stolt 1977). Peltosirkku on palearktisen alueen sirkuista ainoa pitkän matkan muuttaja, joka muuttaa Saharan eteläpuolelle (Cramp & Perrins 1994).

Euroopan peltosirkkujen muuttoreittejä on äskettäin tutkittu valopaikantimien avulla, ja tulosten perusteella linnut voidaan jakaa itäiseen ja läntiseen ryhmään Valko-Venäjältä Balkanille kulkevan jakolinjan perusteella. Itäistä muuttoreittiä käyttävät jakolinjan itäpuolella pesivät ja Itä-Afrikassa talvehtivat linnut, läntistä vastaavasti linjan länsipuolella pesivät ja Länsi-Afrikassa talvehtivat linnut. Itäistä muuttoreittiä käyttävät populaatiot vastaavat noin 90 % Euroopan peltosirkuista, läntistä käyttävät loput 10 % peltosirkuista. Osa läntisten populaatioiden peltosirkuista käyttää myös keskistä muuttoreittiä lentäen Italian kautta Libyaan ja sieltä mahdollisesti Nigeriaan (Jiguet ym. 2019b).

Suomen peltosirkut muuttavat muiden pohjoisten peltosirkkujen tavoin läntistä reittiä. Rengaslöytöjen perusteella osa Suomen populaatiosta muuttaa Lounais-Ranskan yli atlanttista reittiä käyttäen, mutta valopaikantimista (loggereista) saatujen tietojen perusteella Suomen peltosirkut käyttävät läntisen muuttoreitin välimerellistä puolta tai keskistä muuttoreittiä. Ei tiedetä mikä reiteistä on nykyään yleisemmin käytössä, tai ovatko Suomen peltosirkkujen muuttoreitit muuttuneet vuosien varrella (Jiguet ym. 2019b).

### **1.3. Peltosirkut ahdingossa**

Euroopan peltosirkkupopulaatiot ovat taantuneet voimakkaasti ja esimerkiksi Suomessa peltosirkun levinneisyys keskittyy nykyään maan etelä- ja länsiosiin (Jiguet ym. 2019b, Valkama ym. 2011). Äskettäin julkaistun katsauksen (Jiguet ym. 2016) mukaan vuosina 2012–2014 Euroopassa pesivien peltosirkkuparien määrä oli noin 3,3–7,1 miljoonaa, mikä on 50 % vähemmän kuin edellisessä arvioissa 1999–2002. Osaltaan tähän vähennykseen vaikuttaa Turkin peltosirkkupopulaatioiden aiempaa kannanarviota tarkempi arviointi. Peltosirkkupopulaatiot ovat tehdyn katsauksen mukaan kasvamassa kahdessa maassa (Saksa ja Serbia), vakaita tai suuntauksettomasti vaihtelevia kuudessa maassa, vähentymässä 16



maassa ja luultavammin hävinneet viidestä maasta (Belgia, Unkari, Slovakia, Sveitsi ja Alankomaat). Katsaukseen kuuluneista 39 maasta 15:ssä ei ollut tietoja saatavilla.

Euroopan laajuisesti peltosirkkupopulaatioissa on nähtävissä suuntaus, jossa eritoten läntisen ja pohjoisen Euroopan populaatiot ovat vähenemässä tai hävinneet, kun taas eteläisen Euroopan populaatiot ovat pitkälti joko vakaita, suuntauksettomasti vaihtelevia tai jopa kasvavia. Myös aiemmin runsaat itäisen Euroopan populaatiot ovat 2000-luvun alussa kääntyneet laskuun (Jiguet ym. 2016).

Peltosirkku oli aiemmin Suomessa yleinen maaseutuympäristöjen lintu ja sen kanta kasvoi 1940-luvulta 1970-luvulle asti levittäytyen samalla pohjoiseen aina Etelä-Lappiin saakka. Kanta oli vielä 1980-luvulla elinvoimainen ja peltosirkkujen määräksi arvioitiin 150 000–200 000 pesivää paria. Kannan lasku alkoi 1980-luvun puolivälissä ja kiihtyi 1990-luvulla. Vuosien 1979–2017 aikana peltosirkkujen kannat laskivat 99 %, eli noin 12,8 % vuodessa, mikä tekee siitä tarkastelujaksolla Suomen voimakkaimmin taantuneen maalintulajin. Samalla lajin levinneisyys supistui voimakkaasti (Väisänen ym. 2018).

Suomen puolesta miljoonasta parista oli vuonna 2018 jäljellä alle 5 000 (Tiainen ym. 2019). Peltosirkku onkin uusimmassa Suomen lajien uhanalaisuuskatsauksessa luokiteltu Suomessa äärimmäisen uhanalaiseksi (critically endangered, CR; Hyvärinen ym. 2019). Maailmanlaajuisesti peltosirkku on kuitenkin edelleen luokiteltu elinvoimaiseksi (least concerned, LC; BirdLife International 2017).

Maatalouden tehostuminen on merkittävin yksittäinen tekijä Euroopan maatalousympäristöissä pesivien lintujen populaatioiden laskuun (Donald ym. 2001). Koneellistuminen, lisääntynyt lannoitteiden ja kasvinsuojeluaineiden käyttö, kevättylvöjen väheneminen, maatilojen erikoistuminen ja tehostuminen, karjatiheyden kasvu, ojittaminen sekä maatilojen ja peltojen koon kasvu ovat johtaneet monien lintulajien pesimä- ja ruokailualueiden vähenemiseen tai tuhoutumiseen, sopivien ravinnonlähteiden häviämiseen sekä munien ja poikasten tuhoutumiseen kesken pesimäkauden (Piha 2007). Suomen linnuston kannalta merkittäviä maatalousympäristön muutoksia ovat olleet muun muassa karjatilojen korvautuminen viljailuilla, kasvinsuojeluaineiden käytön lisääntyminen ja maankäytön tehostuminen (Tiainen ym. 2004b).

Maatalousympäristöjen muutokset ovat myös Euroopan peltosirkkujen kohdalla yksi merkittävimmistä kannanlaskun taustalla vaikuttavista tekijöistä. Yhtä yksittäistä peltosirkun kannanlaskua selittävää tekijää ei ole kuitenkaan löytynyt, ja populaatioiden pienenemisen taustalla on mitä ilmeisemmin monia eri tekijöitä. Maatalouden tehostumisen lisäksi peltosirkun kantoihin ovat luultavammin vaikuttaneet muun muassa ilmastonmuutos,

populaatioiden rakenteeseen ja dynamiikkaan liittyvät tekijät, metsästys muuttoreiteillä ja talvehtimisalueiden ympäristönmuutokset (Menz & Arlettaz 2012).

Peltosirkkujen tapa muodostaa löyhiä pesimäryhmiä tekee siitä yksin pesiviä lajeja herkemman ympäristön muutoksille. Peltosirkut suosivat pesimäpaikkojen valinnassa alueita, joilla on jo muita peltosirkkuja, ja monesti pesimäryhmät voivat hävitä kokonaan, kun yksilömäärä laskee liian pieneksi (Vepsäläinen ym. 2007). Isot ryhmät saattavat kestää paremmin ympäristönmuutoksia, mutta jos koko ryhmä katoaa, sen syntyminen uudelleen on vaikeaa (Vepsäläinen ym. 2005).

Jiguet ym. (2019b) laativat Atlantin rannikon ja Välimeren kautta kulkevia reittejä muuttaville Euroopan peltosirkuille populaation elinvoimaisuusanalyysin (*population viability analysis*). Sen mukaan nykyiset pohjoiset peltosirkkupopulaatiot ovat sukupuuttouhan alla, jos suojelutoimiin ei ryhdytä eikä elossasäilyvyyttä ja/tai lisääntymismenestystä saada parannettua. Pohjoisten populaatioiden arvioitu mediaaniaika sukupuuttoon on 23 vuotta käytettäessä Norjan peltosirkuilla havaittuja demografisia parametreja (sukupuolijakauma yksi naaras kahta koirasta kohden, munaluku 4,25). Kaikkein optimistisimmassa skenaariossa (kolme naarasta neljää koirasta kohden, munaluku 4,9) sukupuuttoa voitaisiin saada lykättyä 52 vuoden päähän. Suomen demografisten parametrien (kaksi naarasta kolmea koirasta kohden, munaluku 4,57) perusteella sukupuutto myös Suomessa olisi väistämätön, jos mitään suojelutoimia ei tehdä tai niissä ei onnistuta.

#### **1.4. Tutkielman tavoitteet ja hypoteesit**

Tämän tutkielman tavoitteena on selvittää, mikä oli peltosirkkukoiraiden aikuiselossasäilyvyys Suomessa vuosina 2013–2019, millaista oli elossasäilyvyyden vuosittainen ja alueellinen vaihtelu, ja vaikuttivatko muuttokäyttäytymisen tutkimista varten kiinnitetyt valopaikantimet (loggerit) elossasäilyvyyteen. Saatuja tuloksia verrataan alueellisiin kannankehityslukuihin ja muiden varpuslintulajien julkaistuihin elossasäilyvyyksiin. Hypoteesi on, että peltosirkkukoiraiden aikuiselossasäilyvyydellä voidaan osittain selittää, miksi peltosirkkujen kannat ovat Suomessa romahtaneet yhteen prosenttiin 1980-luvun alun tasosta (Väisänen ym. 2018).

## 2. AINEISTO JA MENETELMÄT

### 2.1. Aineisto

Aineisto kerättiin vuosina 2013–2019 koko Suomesta niiltä alueilta, joilla peltosirkun on havaittu pesivän. Aineisto koostuu 210 aikuisen (+1kv; vanhempi kuin ensimmäistä kalenterivuottaan elävä lintu) peltosirkun pyynti-jälleenpyyntiaineistosta, jota käyttäen tehtiin elossasäilyvyysanalyysit, sekä peltosirkkujen reviirikartoituksesta, jota käytettiin kannankehityslukujen laskemiseen. Aineiston ovat keränneet ammattiornitologit Markus Piha (Luonnontieteellinen keskusmuseo) ja Tuomas Seimola (Luonnonvarakeskus), lisäksi avustajina ovat joinakin vuosina toimineet Juha Honkala, Tuomo Jaakkonen, Johanna Lakka ja Jarkko Santaharju (M. Piha, keskustelu 16. kesäkuuta 2019).

Aineiston keruu aloitettiin laajan kansainvälisen hankkeen (Jiguet ym. 2019b) yhteydessä vuonna 2013. Tavoitteena oli tutkia Euroopan peltosirkkujen käyttämiä muuttoreittejä valopaikantimien (loggereiden), stabiilien isotooppien ja genetiikan avulla. Loggerillisten lintujen lisäksi pyydystettiin kontrolliryhmäksi lintuja, joille ei asennettu loggereita, mutta joille tehtiin muut samat tutkimustoimenpiteet. Reviireiltä pyydystettiin pääasiassa koiraita, mutta myös muutamia naaraita saatiin mukaan tutkimukseen. Ensimmäisinä vuosina moni lintu tiputti loggerireppunsa epäonnistuneen loggerin kiinnitysmateriaalin valinnan vuoksi, mutta myöhemmin valjasmallia ja materiaalia parannettiin ja ne pysyivät paremmin matkassa (M. Piha, keskustelu 16. kesäkuuta 2019).

Linnut pyydystettiin Luonnontieteellisen keskusmuseon Rengastustoimiston ohjeita noudattaen. Pyyntimenetelmänä käytettiin lintuverkkoa ja mp3-soittimelta soitettua koiraan laulua ääniatrappina. Pyydystetyt linnut merkittiin virallisen Rengastustoimiston alumiinirenkaan lisäksi yksilöllisin värirengastunnistein, joista ne seuraavina vuosina voitiin tunnistaa ilman pyydystämistä. Vuosina 2013–2016 käytettiin kolmen värirenkaan yhdistelmää, esimerkiksi vasempaan jalkaan laitettiin violetti rengas alumiinirenkaan lisäksi, oikeaan jalkaan punainen ja keltainen värirengas päällekkäin (kuva 1). Vuonna 2017 ryhdyttiin käyttämään lukurenkaita, joissa oli kaksi mustaa merkkiä keltaisella tai valkoisella pohjalla (kuva 1). Lintujen ei tutkimuksen aikana havaittu pudottaneen värirenkaita (M. Piha, keskustelu 16. kesäkuuta 2019).

Pyydystämistä seuraavina vuosina merkinnän kohteena olleiden peltosirkkujen lauluryhmät kierrettiin ja kaikkien havaittujen lintujen jalat tarkistettiin kiikarien, kaukoputken tai kameran avulla. Myös merkittyjä ryhmiä lähimmät tunnetut lauluryhmät tarkistettiin. Käyntejä yhdessä lauluryhmässä oli 2–5 vuodessa touko-kesäkuussa. Muutamina

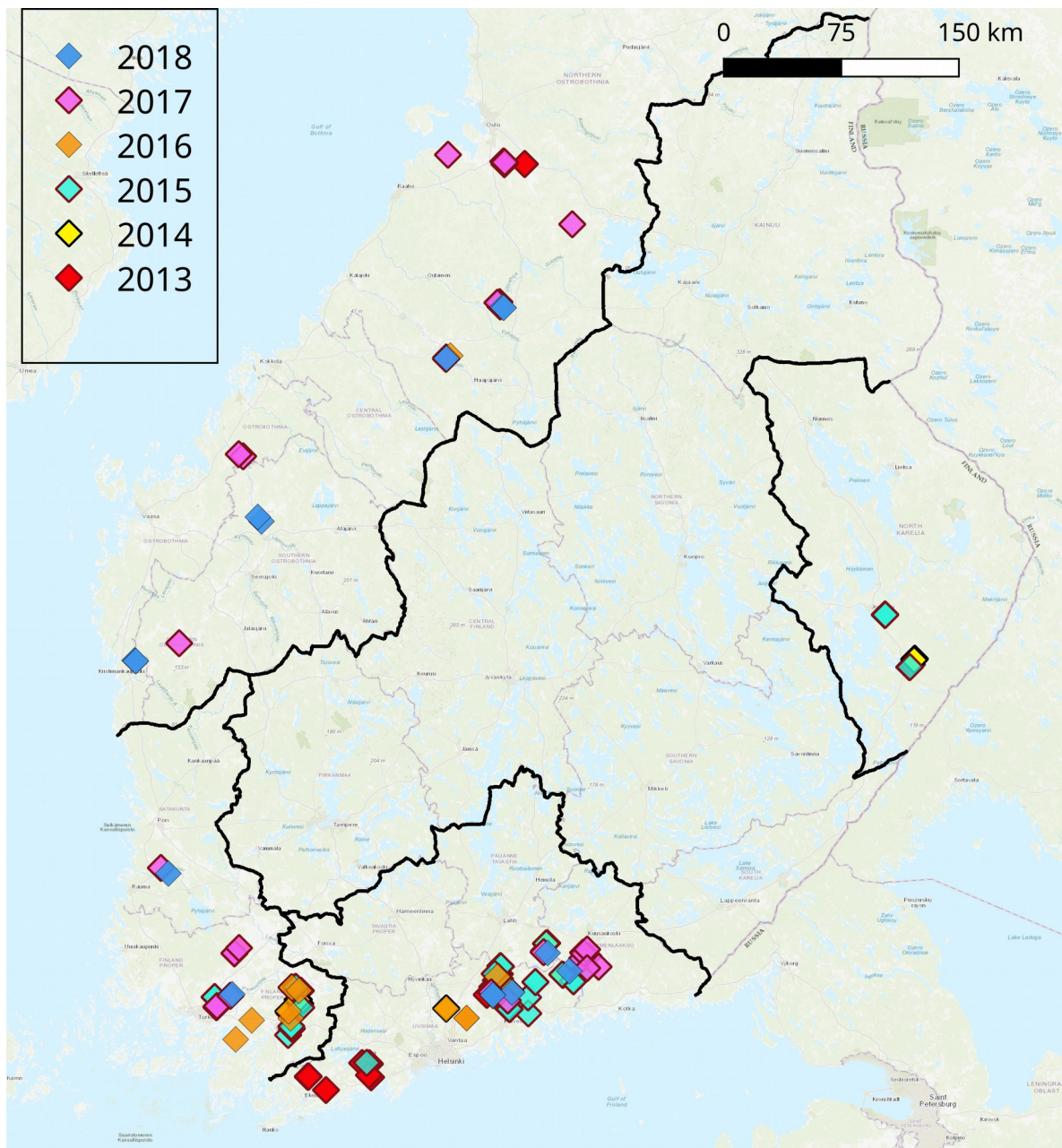
vuosina Länsi- ja Itä-Suomessa jäi joitakin kokonaan tarkistamatta (M. Piha, keskustelu 16. kesäkuuta 2019).



*Kuva 1: Peltosirkku jalassaan esimerkki vuosina 2013–2016 käytetystä yksilöllisestä värirengastunnisteesta. Pikkukuvassa esimerkki vuodesta 2017 eteenpäin käytetystä tunnisteesta. Kuvat: Tuomas Seimola, Markus Piha.*

Pyydystämistä seuraavina vuosina merkinnän kohteena olleiden peltosirkkujen lauluryhmät kierrettiin ja kaikkien havaittujen lintujen jalat tarkistettiin kiikarien, kaukoputken tai kameran avulla. Myös merkittyjä ryhmiä lähimmät tunnetut lauluryhmät tarkistettiin. Käyntejä yhdessä lauluryhmässä oli 2–5 vuodessa touko-kesäkuussa. Muutamina vuosina Länsi- ja Itä-Suomessa jäi joitakin kokonaan tarkistamatta (M. Piha, keskustelu 16. kesäkuuta 2019).

Peltosirkkuja houkuteltiin näkyville käyttäen mp3-soittimella soitettua peltosirkun laulua ja/tai kutsuääntä, ja vuosittain tarkistettiin 250–550 peltosirkkukyksilöä. Tarkistettavien yksilöiden määrä kasvoi tutkimusjakson alusta loppua kohden, sillä kaikkien lauluryhmien lintujen jalat tarkistettiin aina, riippumatta siitä oliko niissä merkittyjä lintuja havaittu vuosiin. Rengastamisen yhteydessä kartoitettiin peltosirkkujen reviirit kirjatun ylös, oliko reviirillä koiras, pari vai oliko se tyhjillään (M. Piha, keskustelu 16. kesäkuuta 2019).



Kuva 2. Rengastettujen peltosirkkujen jakautuminen alueittain ja vuosittain. Kartassa korostettuna eteläinen, lounainen ja pohjoinen suuralue sekä Itä-Suomi. Datapisteet osin päällekkäisiä, tarkemmat lukumäärät kts. taulukko 2. Karttapohja: Esri Topo (QGIS Development Team 2018).

### 2.1.1. Aineiston käsittely

Pyynti-jälleenpyyntiaineistosta tehtiin kaksi elossasäilyvyysanalyysia: koko Suomen analyysi ja alueellinen analyysi. Koko Suomen analyysia varten aineisto jaettiin kahteen ryhmään: (1) lintuihin joilla oli loggeri ja (2) loggerittomiin lintuihin, sillä oli aihetta epäillä, että loggerin kantaminen vaikutti linnun elossasäilyvyyteen. Lopullisesta analysoitavasta aineistosta

jätettiin pois naaraat, sillä naaraiden ja koiraiden elossasäilyvyyttä ei voida olettaa samaksi, ja naaraita oli aineistossa huomattavan vähän, vain seitsemän.

Myös seitsemän pesimäpaikkaa vaihtanutta peltosirkkukoirasta jätettiin pois, sillä tutkimuksen kohteena oli nimenomaan näennäinen elossasäilyvyys (*apparent survival*; Lebreton ym. 1992) eli todennäköisyys sille, että lintu on selvinnyt talven yli ja palannut edellisen vuoden pesimäryhmäänsä. Siirtyneiden yksilöiden huomioiminen aiheuttaisi analyysiin virhelähteen, sillä tuntematon osa paikkansa vaihtaneista löytyi, koska ne olivat sattuneet siirtymään toiselle tutkimusalueelle, ja tuntematon osa sirkuista jäi löytymättä siirryttyään kokonaan pois tutkimusalueilta.

Osa loggerilinnuista pudotti loggerinsa sen asentamisen jälkeen, mutta nämä päätettiin silti aineistossa laskea loggerilinnuiksi, sillä loggerit putosivat linnuilta tuntemattoman pituisen ajanjakson jälkeen ja kestossa voi olettaa olevan yksilökohtaista muuntelua. Näin ollen loggerin pudottamisen huomioiminen analyysimalleissa olisi vaikeaa, ellei jopa mahdotonta. Myös linnut, joilta loggeri poistettiin, laskettiin loggerilinnuiksi poistamisesta eteenpäin, koska loggerin mahdollisia pidempiaikaisia vaikutuksia lintuyksilöön ei tunneta (*carry over effects*; Arlt ym. 2013). Lopulta elossasäilyvyysanalyysi tehtiin aineistolle, joka koostui yhteensä 196 lintuyksilöstä. Näistä 101 oli loggerillisia ja 95 loggerittomia. Rengastettujen peltosirkkujen määrät vuosittain loggeri/ei loggeria -ryhmät huomioiden esitetään taulukossa 1.

*Taulukko 1: Rengastettujen peltosirkkujen määrät vuosittain loggeri/ei loggeria -ryhmät huomioiden. Mukanaan on laskettu seitsemän naarasta, joilla kahdella oli loggeri sekä seitsemän pesimäpaikkaansa vaihtanutta lintua. Kaikista loggeriyksilöistä 17 havaittiin pudottaneen loggerinsa ja yhdeksältä saatiin loggeri takaisin.*

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	Yht.
<b>Loggeri</b>	39	15	40	4	7	0	105
<b>Ei loggeria</b>	15	15	14	24	21	16	105
<b>Yhteensä</b>	54	30	54	28	28	16	210

Alueellisia elossasäilyvyyksiä analysoidessa tehtiin kuten koko Suomea koskevassa elossasäilyvyysanalyysissä eli naaraat ja siirtyneet linnut poistettiin aineistosta. Tämän lisäksi Itä-Suomi poistettiin aineistosta, sillä siellä oli käyty liian harvoin, jotta sen vertaaminen muihin alueisiin olisi luotettavaa. Muut alueet koottiin analyysissä kolmeen suuralueeseen: pohjoiseen, lounaiseen ja eteläiseen (kuva 2). Pohjoisen suuralueeseen kuuluivat Etelä-Pohjanmaan, Keski-Pohjanmaan, Pohjanmaan ja Pohjois-Pohjanmaan peltosirkut, lounaiseen

Satakunnan ja Lounais-Suomen peltosirkut ja eteläiseen Uudenmaan, Kanta-Hämeen, Päijät-Hämeen ja Kymenlaakson peltosirkut. Koska päätavoitteena oli tutkia peltosirkun nykyistä elossasäilyvyyttä eri alueilla ilman loggerin vaikutusta, poistettiin loggerilinnut alueellisten elossasäilyvyyksien tutkimiseen käytetystä aineistosta. Tätä päätöstä tuki koko Suomen analyysissä havaittu elossasäilyvyyksien ero loggerilintujen ja loggerittomien lintujen välillä. Alueellisessa elossasäilyvyysanalyysissä oli mukana 90 lintua, joista 46 eteläisiä, 20 lounaisia ja 24 pohjoisia. Rengastettujen peltosirkkujen määrät vuosittain ja alueittain esitetään taulukossa 2.

*Taulukko 2. Rengastettujen peltosirkkujen määrät vuosittain ja suuralueittain, mukana myös Itä-Suomi. Suluissa loggerillisten lintujen määrät. Mukaan on laskettu seitsemän naarasta ja seitsemän paikkaa vaihtanutta lintua. Naaraista neljä oli etelästä ja muut yksi kultakin alueelta. Paikkaa vaihtaneista viisi oli etelästä ja kolme lounaasta.*

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	Yht.
<b>Etelä</b>	25 (18)	16 (9)	35 (28)	17 (0)	8 (0)	5 (0)	106 (55)
<b>Lounas</b>	17 (12)	9 (3)	10 (9)	8 (4)	11 (5)	2 (0)	57 (33)
<b>Pohjoinen</b>	9 (6)	0	5 (3)	3 (0)	9 (2)	9 (0)	35 (11)
<b>Itä-Suomi</b>	3 (3)	5 (3)	4 (0)	0	0	0	12 (6)
<b>Yhteensä</b>	54 (39)	30 (15)	54 (40)	28 (4)	28 (7)	16 (0)	210 (105)

Reviirikartoitusaineistoa käytettiin alueellisten kannankehityslukujen laskemiseen. Aineisto koostui osapopulaatioissa (lauryhmissä) suoritettujen kartoituslaskentojen avulla kerätyistä vuosittaisista reviirimääristä. Kartoitusaineistosta poistettiin Itä-Suomi, sillä siellä oli vain kaksi lauryhmää ja niissä oli käyty liian harvoin vertailukelpoisten tulosten saamiseksi. Reviirit kartoitettiin yhteensä 305 alueelta jotka jaettiin kolmeen suuralueeseen: pohjoiseen, lounaiseen ja eteläiseen (kuva 2).

Pohjoisen suuralueeseen kuuluivat Etelä-Pohjanmaan, Keski-Pohjanmaan, Pohjanmaan ja Pohjois-Pohjanmaan alueet (65), lounaiseen Lounais-Suomen ja Satakunnan alueet (99) ja eteläiseen Uudenmaan, Kymenlaakson, Kanta-Hämeen ja Päijät-Hämeen alueet (141). Reviirien ja laskenta-alueiden määrä vuosittain ja suuralueittain esitellään taulukossa 3.

*Taulukko 3. Alueellisen kannanseuranta-aineiston reviirien ja laskenta-alueiden määrät vuosittain ja suuralueittain*

		2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
<b>Lounas</b>	<b>Reviirit</b>	78	70	112	128	95	136	112
	<b>Alueet</b>	14	16	34	54	58	70	64
	<b>Keskiarvo</b>	5,6	4,4	3,3	2,4	1,6	1,9	1,8
<b>Pohjoinen</b>	<b>Reviirit</b>	11	10	20	46	136	213	202
	<b>Alueet</b>	2	3	4	10	32	55	45
	<b>Keskiarvo</b>	5,5	3,3	5,0	4,6	4,3	3,9	4,5
<b>Etelä</b>	<b>Reviirit</b>	89	121	180	170	160	176	157
	<b>Alueet</b>	37	40	66	71	76	85	76
	<b>Keskiarvo</b>	2,4	3,0	2,7	2,4	2,1	2,1	2,0

### 2.1.2. Tutkimuseettiset kysymykset

Lintujen pyydystäminen ja merkitseminen vaikuttavat lintujen käyttäytymiseen ja elossasäilyvyyteen, mutta vaikutusten määrää ja laatua on tutkittu suhteellisen vähän (Calvo & Furness 1992). Tutkimustiedon vähyyteen on erityisesti vaikuttanut se, että lintujen tutkiminen ilman niiden pyydystämistä ja yksilöllistä merkitsemistä on vaikeaa. Esimerkiksi elossasäilyvyyttä ei käytännössä voida tutkia ilman yksilöllistä tunnistamista. Yleisin lintujen merkitsemistapa on rengastaminen, mutta huolimatta sen yleisestä käytöstä ja lievista haittavaikutuksista, pitäisi myös rengastaessa pyrkiä minimoimaan linnuille koituvat potentiaaliset haitat (Calvo & Furness 1992).

Loggereilla on havaittu olevan vähäisiä vaikutuksia elossasäilyvyyteen, mutta haittavaikutuksia voidaan vähentää valitsemalla loggerit ja niiden kiinnitysmateriaalit lajikohtaisesti (Brlík ym. 2020). Haitoista huolimatta niiden käyttö on perusteltua, sillä ne ovat ainoa mahdollinen keino selvittää kaukomuuttavan pikkulinnun muuttoreittejä ja talvehtimisalueita.

Eräs keino lintujen pyydystämisen ja merkitsemisen aiheuttamien haittojen minimointiin on sen luvanvaraisuus ja lupien myöntäminen vain koulutetuille henkilöille. Suomessa rauhoitettujen lintujen pyydystäminen ja rengastaminen Luonnontieteellisen keskusmuseon Rengastustoimiston hyväksymin tunnistein on luvanvaraista toimintaa. Toiminta perustuu poikkeuslupaun, jonka vuosina 2013–2014 myönsivät alueelliset ympäristökeskukset ja vuodesta 2015 alkaen Varsinais-Suomen ELY-keskus koko maahan (VARELY/1414/2015, VARELY/3622/2017). Paikannuslaitteiden, kuten loggerien, kiinnittäminen rauhoitetuille linnuille vaatii lisäksi Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskuksen (ELY) myöntämän erillisen poikkeuslupan. Tämän gradun aineiston



keruuseen vaadittujen poikkeuslupien diaarinumerot olivat: VARELY/310/07.01/2013, KASELY/348/07.01/2010, HAMELY/220/07.01/2013, POPELY/190/07.01/2013, POKELY/124/07.01/2013, UUDELY/223/07.01/2013.

## 2.2. Menetelmät

### 2.2.1. Elossasäilyvyysanalyysi

Elossasäilyvyysanalyysi (*survival analysis*) tehtiin käyttäen CJS-mallia (Cormack-Jolly-Seber; Lebreton ym. 1992) MARK -ohjelmassa (White & Burnham 1999). Jotta löydettäisiin malli, joka selittää parhaiten aineistossa näkyvää vaihtelua, tehtiin MARK -ohjelmassa useampia malleja ja näiden  $\Delta AIC$  -arvoja (*Akaike Information Criterion*) vertailtiin. Parhaimmat mallit ovat niitä, joiden  $\Delta AIC$  -arvo on pienin, ja selvästi heikommiksi malleiksi arvioidaan ne, joiden  $\Delta AIC$ -arvo on kolme yksikköä (tai enemmän) suurempi kuin parhaan mallin arvo ( $\Delta AIC \geq 3$ ; Burnham & Anderson 2002).

CJS -mallia käytettäessä tehtiin seuraavat taustaoletukset (Lebreton ym. 1992):

1. Jokaisella populaation rengastetulla linnulla, joka on paikalla samalla ajanhetkellä ( $i$ ), on sama todennäköisyys tulla uudelleenhavaituksi ( $p$ ).
2. Jokaisella populaation rengastetulla linnulla välittömästi ajanhetken ( $i$ ) jälkeen, on sama todennäköisyys selvitä seuraavaan ajanhetkeen ( $i + 1$ ).
3. Renkaita ei ole kadonnut ja jos rengastettu lintu on populaatiossa, se on havaittu.
4. Jokainen pyydystys ja uudelleenhavainnointi on tapahtunut välittömästi ja lintu on vapautettu heti rengastuksen jälkeen.

### 2.2.2. Analyysimallien rakentaminen

Mallit rakennettiin vaihtelemalla kahta muuttujaa, ellossasäilyvyyttä ( $\phi$ ) ja uudelleenhavaittavuutta ( $p$ ). Mallien rakentamisen tavoitteena oli testata, onko ellossasäilyvydessä ryhmien tai tutkimusjakson vuosien välisiä eroja, vai selittykö aineistossa esiintyvä vaihtelu parhaiten ilman ryhmiä tai tarkastelemalla tutkimusjaksoa yhtenä kokonaisuutena. Tuloksena saatiin ellossasäilyvyys- ja uudelleenhavaittavuusasteet (*survival and recapture rates*) jotka kuvaavat ellossasäilyvyyden ja uudelleenhavaittavuuden todennäköisyyksiä (*survival and recapture probabilities*) (Lebreton ym. 1992). Malleissa ellossasäilyvyys on näennäistä ellossasäilyvyyttä (*apparent survival*; ks. luku 1.1.). Peltosirkku

on paikkauskollinen ja palaa yleensä keväisin takaisin edellisikesän pesimäalueelle (Dale ym. 2005, Jiguet ym. 2019b), minkä perusteella näennäinen elossasäilyvyys on oletettavasti melko lähellä todellista elossasäilyvyyttä.

Rakennettavat mallit valittiin vastaamaan tutkimuskysymyksiin. Ensimmäisenä analysoitiin koko Suomen peltosirkut. Tässä analyysissä oli kaksi ryhmää, loggerilinnut ja loggerittomat linnut. Malleja rakennettiin yhteensä kahdeksan (taulukko 4). Tämän jälkeen aineisto analysoitiin alueittain ja ryhminä olivat pohjoinen, lounainen ja eteläinen. Malleja rakennettiin yhteensä kahdeksan (taulukko 5). Koska uudelleenhavaittavuus ei ensimmäisissä analyyseissa vaihdellut merkittävästi vuosien välillä, jätettiin alueellisessa elossasäilyvyysanalyysissä pois mallit, joissa uudelleenhavaittavuutta tarkasteltiin vuosittain.

*Taulukko 4: Koko Suomen peltosirkkujen elossasäilyvyysanalyysin mallit.*

*Phi = elossasäilyvyys, p = uudelleenhavaittavuus, t = vuosien välillä on vaihtelua, c = ryhmien välillä on vaihtelua, c + t = sekä vuosien että ryhmien välillä on vaihtelua.*

<b>Malli</b>	<b>Kaava</b>	<b>Selite</b>
1A	$\{\phi, p\}$	Loggeri ei vaikuta peltosirkun todennäköisyyteen säilyä elossa. Vuosien välillä ei ole vaihtelua.
1B	$\{\phi_t, p\}$	Loggeri ei vaikuta peltosirkun todennäköisyyteen säilyä elossa. Elossasäilyvyys vaihtelee vuosittain.
1C	$\{\phi, p_t\}$	Loggeri ei vaikuta peltosirkun todennäköisyyteen säilyä elossa. Uudelleenhavaittavuus vaihtelee vuosittain.
1D	$\{\phi_t, p_t\}$	Loggeri ei vaikuta peltosirkun todennäköisyyteen säilyä elossa. Elossasäilyvyys ja uudelleenhavaittavuus vaihtelevat vuosittain.
1E	$\{\phi_c, p\}$	Loggeri vaikuttaa peltosirkun todennäköisyyteen säilyä elossa. Vuosien välillä ei ole vaihtelua.
1F	$\{\phi_{c+t}, p\}$	Loggeri vaikuttaa peltosirkun todennäköisyyteen säilyä elossa. Elossasäilyvyys vaihtelee vuosittain.
1G	$\{\phi_c, p_t\}$	Loggeri vaikuttaa peltosirkun todennäköisyyteen säilyä elossa. Uudelleenhavaittavuus vaihtelee vuosittain.
1H	$\{\phi_{c+t}, p_t\}$	Loggeri vaikuttaa peltosirkun todennäköisyyteen säilyä elossa. Elossasäilyvyys ja uudelleenhavaittavuus vaihtelevat vuosittain.

Taulukko 5. Alueellisen ellossasäilyvyysanalyysin mallit.  $\Phi$  = ellossasäilyvyys,  $p$  = uudelleenhavaittavuus,  $t$  = vuosien välillä on vaihtelua,  $c$  = ryhmien välillä on vaihtelua,  $c + t$  = sekä vuosien että ryhmien välillä on vaihtelua.

Malli	Kaava	Selite
2A	$\{\phi_p\}$	Alue ei vaikuta peltosirkun todennäköisyyteen säilyä elossa tai tulla havaituksi. Vuosien välillä ei ole vaihtelua.
2B	$\{\phi_t p\}$	Alue ei vaikuta peltosirkun todennäköisyyteen säilyä elossa tai tulla havaituksi. Elossasäilyvyys vaihtelee vuosittain.
2C	$\{\phi_c p_c\}$	Alue vaikuttaa peltosirkun todennäköisyyteen säilyä elossa ja tulla havaituksi. Vuosien välillä ei ole vaihtelua.
2D	$\{\phi_{c+t} p_c\}$	Alue vaikuttaa peltosirkun todennäköisyyteen säilyä elossa ja tulla havaituksi. Elossasäilyvyys vaihtelee vuosittain.
2E	$\{\phi_c p\}$	Alue vaikuttaa peltosirkun todennäköisyyteen säilyä elossa. Vuosien välillä ei ole vaihtelua.
2F	$\{\phi_{c+t} p\}$	Alue vaikuttaa peltosirkun todennäköisyyteen säilyä elossa. Elossasäilyvyys vaihtelee vuosittain.
2G	$\{\phi_p p_c\}$	Alue vaikuttaa peltosirkun todennäköisyyteen tulla havaituksi. Vuosien välillä ei ole vaihtelua.
2H	$\{\phi_t p_c\}$	Alue vaikuttaa peltosirkun todennäköisyyteen tulla havaituksi. Elossasäilyvyys vaihtelee vuosittain.

### 2.2.3. Alueelliset kannanmuutosindeksit

Alueelliset kannanmuutosindeksit laskettiin käyttämällä log-lineaarista *Poisson* -mallia:  $N_{ij} \sim \text{paikka}_i + \text{vuosi}_j + \text{alue}$ , jossa  $N$  on lintujen määrä,  $j$  on aika ja  $i$  on paikka. Mallissa vuosi käsiteltiin jatkuvana muuttujana ja alueet analysoitiin kovariaattina. Täten testattiin, onko alueiden välillä eroa kannankehityksen voimakkuudessa. Laskemiseen käytettiin R - ohjelmiston (R 3.6.2.; R Core Team 2019) pakettia Rtrim (Rtrim 2.0.6.; Bogaart ym. 2016). Analyysissa aineistosta poistettiin kaikki laskenta-alueet, joilla reviierejä ei havaittu tutkimusaikana kertaakaan eli yhteensä 104 aluetta. Analyysi tehtiin käyttäen jäljelle jääneitä 201 aluetta. Aineiston ensimmäinen vuosi 2013 (indeksi-arvo = 1) asetettiin vertailuvuodeksi, johon seuraavia vuosia verrattiin. Alueiden ja vuosien välisten erojen merkitsevyyksien testaamiseen käytettiin Wald -testiä (ks. Engle 1984).

### 3. TULOKSET

#### 3.1. Mallien valinta

##### 3.1.1. Koko Suomen elossasäilyvyysanalyysin mallien valinta

Koko Suomen elossasäilyvyysanalyysin malleista parhaiten aineistossa esiintyvää vaihtelua selittävät mallit ( $\Delta AIC < 3$ ) olivat: (1) Malli 1E ( $\Delta AIC = 0,0$ ), jossa loggerin oletettiin vaikuttavan elossasäilyvyyteen, mutta ei uudelleenhavaittavuuteen, eikä kummankaan oletettu vaihtelevan vuosien välillä; (2) Malli 1A ( $\Delta AIC = 2,61$ ), jossa loggerin ei oletettu vaikuttavan elossasäilyvyyteen eikä uudelleenhavaittavuuteen, eikä kummankaan oletettu vaihtelevan vuosien välillä; (3) Malli 1B ( $\Delta AIC = 2,68$ ), jossa loggerin ei oletettu vaikuttavan elossasäilyvyyteen tai uudelleenhavaittavuuteen, mutta elossasäilyvyyden oletettiin vaihtelevan vuosittain. Vuosittaisen elossasäilyvyyden vaihtelun kuvailemiseksi tarkasteltiin lisäksi mallia 1F, (neljänneksi paras;  $\Delta AIC = 7,30$ ), jossa sekä loggerilla että vuosilla oletettiin olevan vaikutusta elossasäilyvyyteen, mutta kummallakaan ei uudelleenhavaittavuuteen. Tämän mallin  $\Delta AIC$  -arvo on 7,30 eli se ei mallin parametrien lukumäärä huomioiden selitä aineistossa esiintyvää vaihtelua niin hyvin kuin kolme aiempaa vähemmän parametrisoitua mallia, mutta mallin tuloksia tarkastellaan, koska myös vuosien väliset erot saattavat olla kiinnostavia. Näiden neljän sekä hylättyjen kilpailevien mallien  $\Delta AIC$  -arvot ilmenevät taulukosta 6.

Koko Suomen elossasäilyvyysanalyysin mallien vertailun tulosten perusteella loggerilla oli negatiivinen vaikutus peltosirkkukoiraan elossasäilyvyyteen, vuosien välillä ei ollut suurta vaihtelua elossasäilyvyydessä ja uudelleenhavaittavuus oli loggerista tai vuodesta riippumatta sama.

*Taulukko 6. Koko Suomen peltosirkkujen elossasäilyvyysanalyysia varten rakennettujen mallien vertailu.*

<b>Malli</b>	<b>Kaava</b>	<b>AICc</b>	<b><math>\Delta</math>AICc</b>	<b>AICc painotus</b>
1E	$\{\phi_{c,p}\}$	364.63	0.00	0.64
1A	$\{\phi_{p,p}\}$	367.24	2.61	0.17
1B	$\{\phi_{t,p}\}$	367.31	2.68	0.17
1F	$\{\phi_{c+t,p}\}$	371.93	7.30	0.02
1G	$\{\phi_{c,p_t}\}$	374.89	10.26	0.02
1D	$\{\phi_{t,p_t}\}$	375.88	11.25	0.00
1C	$\{\phi_{p,P_t}\}$	377.17	12.54	0.00
1H	$\{\phi_{c+t,p_t}\}$	380.90	16.27	0.00

### 3.1.2. Alueellisen elossasäilyvyysanalyysin mallien valinta

Alueellisissa elossasäilyvyysanalyysissä parhaiten aineistossa tapahtuvaa vaihtelua selittäviä malleja ( $\Delta$ AIC < 3) oli kaksi: (1) Malli 2A ( $\Delta$ AIC = 0,00), jossa oletettiin etteivät elossasäilyvyys ja uudelleenhavaittavuus eroa alueiden eikä vuosien välillä; (2) Malli 2B ( $\Delta$ AIC = 1,97), jossa oletettiin että elossasäilyvyys ja uudelleenhavaittavuus eivät eroa alueiden välillä, mutta elossasäilyvyys vaihtelee vuosittain. Kahden parhaan mallin lisäksi tarkasteltiin kolmanneksi parasta mallia 2E ( $\Delta$ AIC = 4,16), jossa oletettiin elossasäilyvyyden olevan erilaista alueiden välillä, uudelleenhavaittavuuden olevan kaikilla alueilla sama, mutta kumpikaan ei vaihtelee vuosien välillä. Neljäs tarkasteluun valittu malli oli malli 2F ( $\Delta$ AIC = 19,78), jossa oletettiin elossasäilyvyyden olevan erilaista alueiden ja vuosien välillä, mutta uudelleenhavaittavuuden olevan samanlaista alueiden ja vuosien välillä. Kaksi viimeisintä eivät juuri lisänneet selitysasetta suhteessa kahteen parhaaseen malliin, mutta koska haluttiin tarkastella myös ryhmien välisiä eroja, otettiin ne mukaan visuaaliseen tarkasteluun. Alueelliset mallit esitellään taulukossa 7.

Alueellisten mallien vertailun tulosten perusteella alueiden välillä ei ollut juuri vaihtelua eivätkä elossasäilyvyyksien vuosittaiset erot olleet merkitseviä.

*Taulukko 7. Alueellisten elossasäilyvyyksien analyysia varten rakennettujen mallien vertailu.*

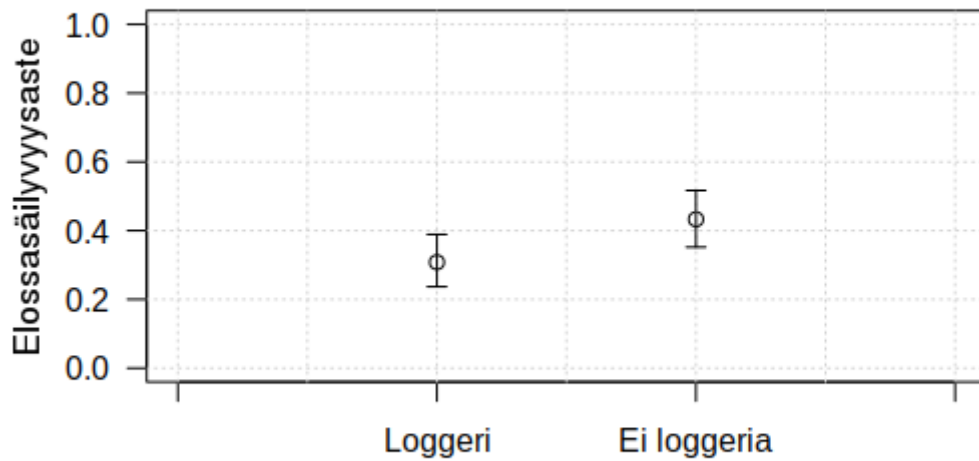
<b>Malli</b>	<b>Kaava</b>	<b>AICc</b>	<b><math>\Delta</math>AICc</b>	<b>AICc painotus</b>
2A	$\{\phi_i p_i\}$	185.32	0.00	0.60
2B	$\{\phi_i p_i\}$	187.29	1.97	0.22
2E	$\{\phi_c p_i\}$	189.47	4.16	0.07
2G	$\{\phi_i p_c\}$	189.54	4.22	0.07
2H	$\{\phi_i p_c\}$	191.86	6.54	0.02
2C	$\{\phi_c p_c\}$	193.83	8.51	0.01
2F	$\{\phi_{c+t} p_i\}$	205.10	19.78	0.00
2D	$\{\phi_{c+t} p_c\}$	210.70	25.38	0.00

### 3.2. Valittujen mallien tulokset

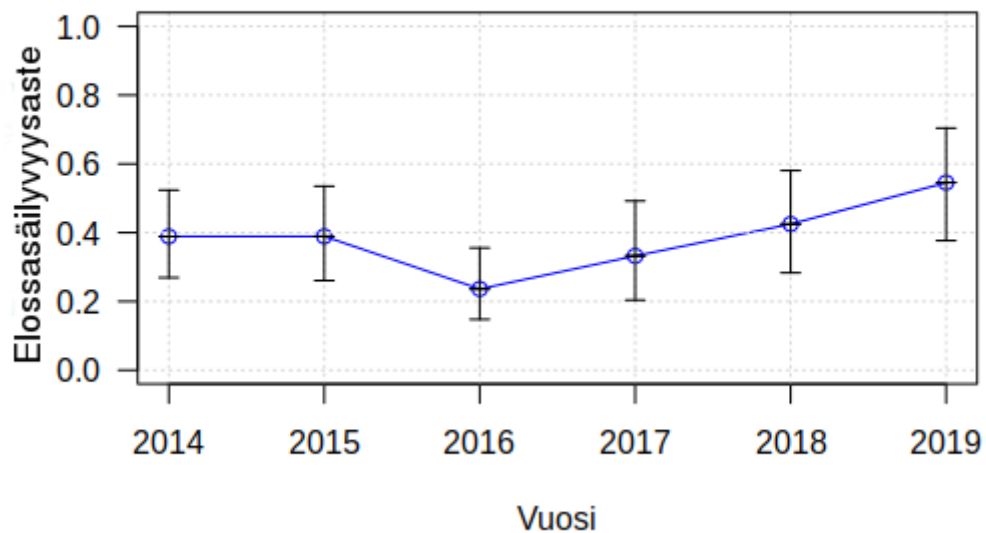
#### 3.2.1. Koko Suomen mallien tulokset

Suomen aikuisten peltosirkkukoiraiden elossasäilyvyysaste vuosina 2013–2019 oli 36,9 % (ja 95 % luottamusväli: 31,5–42,8 %; malli 1A). Loggeri vaikutti elossasäilyvyyteen, sillä koko Suomen mallien vertailun paras malli (malli 1E) huomioi loggerilliset ja loggerittomat erillisinä ryhminä. Toisin sanoen ryhmien tarkastelu erillään paransi mallin selittävyttä. Mallissa 1E loggerillisten elossasäilyvyysaste koko tarkastelujaksona oli 30,8 % (95 % luottamusväli 23,7–38,9 %) ja loggerittomien 43,3 % (95 % luottamusväli 35,2–51,7 %) (kuva 3). Sekä loggerilliset että loggerittomat peltosirkut käsittävän aineiston vuosittainen elossasäilyvyysaste vaihteli 23,6 % ja 54,5 % välillä (malli 1B).

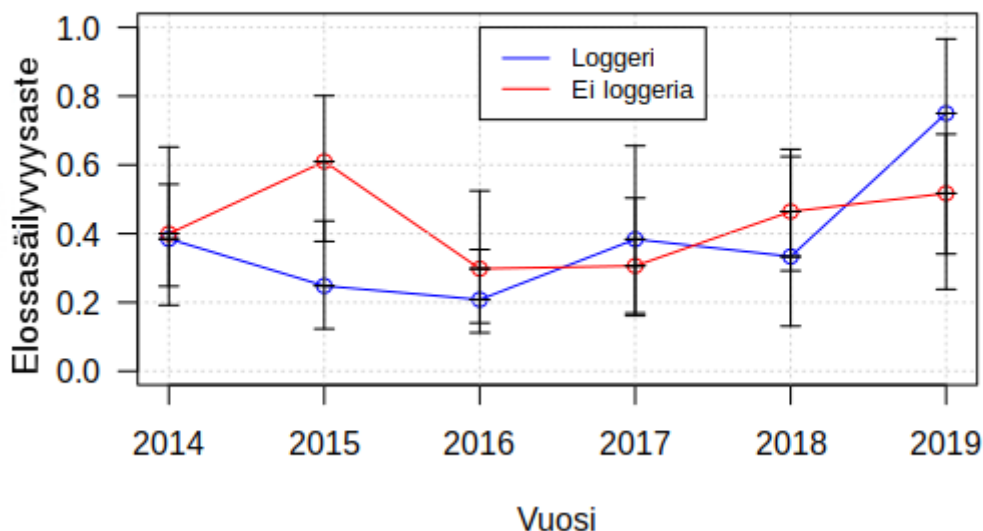
Vaikka vuosittaisten vaihtelujen malli pärjasi mallien vertailussa huonommin kuin mallit, joissa kaikkien vuosien elossasäilyvyys oletettiin samaksi, voidaan sen tuloksista nähdä (kuva 4) että vuonna 2016 elossasäilyvyysaste oli alimmillaan, kun taas vuonna 2019 se oli korkeimmillaan. Mallissa 1F, jossa tarkasteltiin loggerittomien ja loggerillisten vuosittaista elossasäilyvyyttä erikseen, vuosittainen elossasäilyvyysaste loggerillisilla vaihteli 20,8 % ja 75,0 % välillä, ja loggerittomilla 29,8 % ja 61,0 % välillä (kuva 5). Molempien ryhmien elossasäilyvyysaste oli matalimmillaan vuonna 2016, mutta korkeimmillaan elossasäilyvyysaste oli loggerillisilla vuonna 2019 ja loggerittomilla vuonna 2015. Kaikissa analyyseissa uudelleenhavaittavuusaste oli 100 %, mikä tarkoittaa, että vuosina 2013–2019 kaikki tutkimuspopulaatioihin palanneet merkityt peltosirkut havaittiin.



Kuva 3. Loggerillisten ja loggerittomien peltosirkkujen ellossasäilyvyysaste koko tutkimusjaksolle (koko Suomi, malli 1E). Pystyviivat kuvaavat parametrin 95 % luottamusväliä.



Kuva 4. Aikuisten peltosirkkukoiraiden ellossasäilyvyysasteen vuosittainen vaihtelu (koko Suomi, malli 1B). Vuosi 2014 tarkoittaa ellossasäilyvyyttä vuodesta 2013 vuoteen 2014, ja vastaavasti vuosi 2015 ellossasäilyvyyttä vuodesta 2014 vuoteen 2015 ja niin edelleen. Pystyviivat kuvaavat 95 % luottamusväliä.



Kuva 5. Aikuisten peltosirkkukoiraiden ellossasäilyvyysasteen vuosittainen vaihtelu (koko Suomi, malli 1F), loggerilliset ja loggerittomat eroteltu omiksi ryhmikseen. Vuosi 2014 tarkoittaa ellossasäilyvyyttä vuodesta 2013 vuoteen 2014, ja vastaavasti vuosi 2015 ellossasäilyvyyttä vuodesta 2014 vuoteen 2015 ja niin edelleen. Pystyviivat kuvaavat 95 % luottamusväliä.

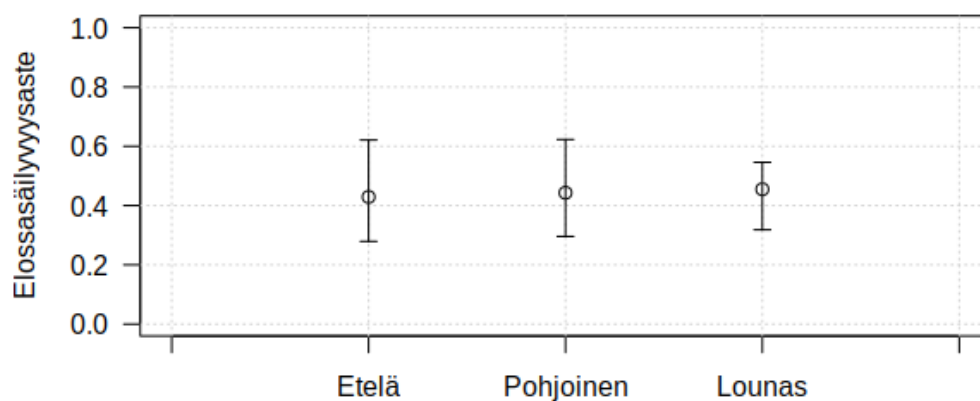
### 3.2.2. Alueellisten mallien tulokset

Kun aineistosta poistettiin loggerilinnut sekä Itä-Suomen vaillinaisesti seuratun populaation yksilöt, ja siten analysoitiin ainoastaan loggerittomia lintuja, Suomen peltosirkkukoiraiden aikuisellossasäilyvyydessä ei havaittu merkitseviä alueellisia eroja. Alueellisen analyysin kaksi parasta mallia olivat mallit, joissa alueiden välillä ei oletettu eroja (mallit 2A ja 2B), mikä kertoo siitä, että alueiden analysointi erillään ei parantanut aineistossa esiintyvän vaihtelun selityksastetta. Mallissa 2A peltosirkkukoiraiden ellossasäilyvyys koko tutkimusjakson aikana oli 43,8 % (95 % luottamusväli 35,6–42,8 %).

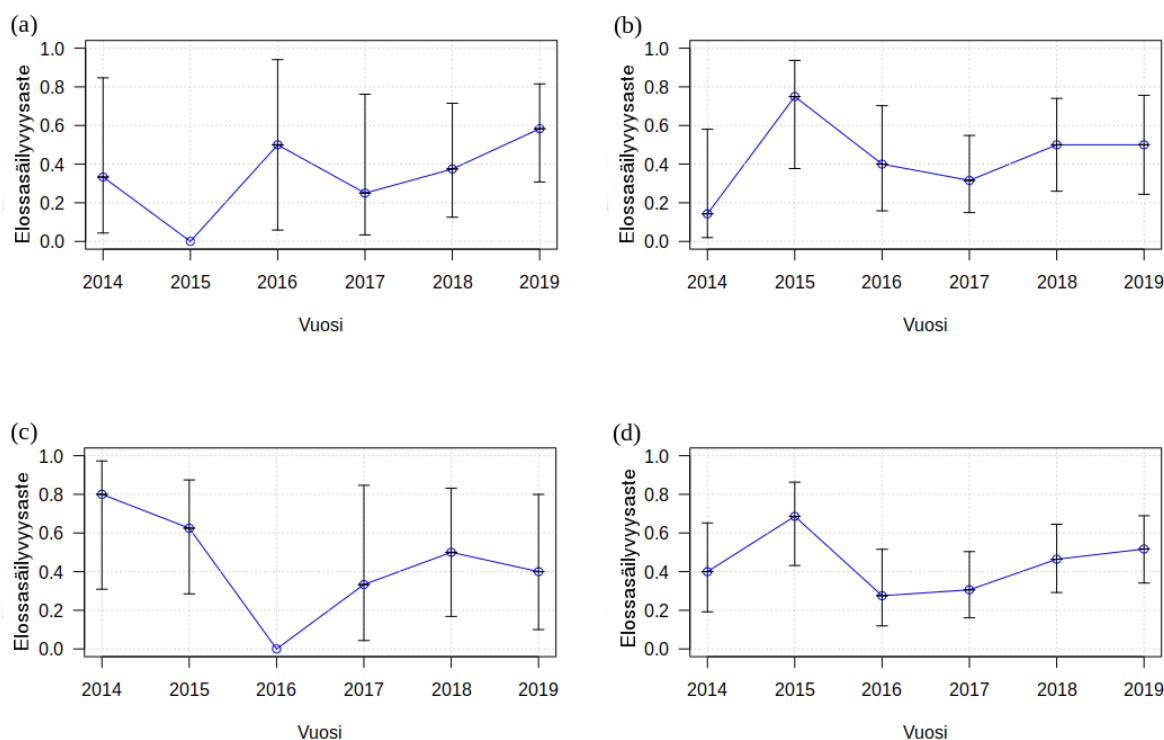
Mallissa 2B (kuva 7d) vuosittainen ellossasäilyvyys vaihteli 27,5 % ja 68,6 % välillä olleen korkeimmillaan vuonna 2015 ja matalimmillaan vuonna 2016. Mallissa 2E (kuva 6), jossa ryhmien välille oletettiin eroa, pohjoisen alueen peltosirkkukoiraiden ellossasäilyvyys koko tutkimusjaksolla oli 44,3 % (95 % luottamusväli 27,9–62,1 %), lounaisen alueen 45,5 % (95 % luottamusväli 29,6–62,3 %) ja eteläisen alueen 42,9 % (95 % luottamusväli 31,8–54,6 %). Mallissa 2F (kuvat 7a-c), jossa ryhmien välisten erojen lisäksi oletettiin vuosittaisia eroja, ellossasäilyvyys vaihteli pohjoisen peltosirkkukoiraille 0,0–58,3 % välillä, lounaan 0,0–80,0 % välillä ja etelän 14,2–75,0 % välillä. Elossasäilyvyys oli pohjoisen ryhmällä



alimmillaan vuonna 2015 ja korkeimmillaan vuonna 2019, lounaassa vastaavat vuodet olivat vuosina 2016 ja 2014 ja etelässä vuosina 2014 ja 2015. Puolet aineiston linnuista oli eteläisestä ryhmästä, mikä näkyy eteläisen ja koko Suomen mallien tulosten samankaltaisuudessa. Pohjoisen ja lounaisen ryhmien romahdusvuosina alueilta ei löydetty yhtäkään edellisinä vuosina rengastettua peltosirkkua, minkä vuoksi elossasäilyvyys jää nolnaan. Uudelleenhavaittavuusaste oli kaikissa malleissa 100 %.



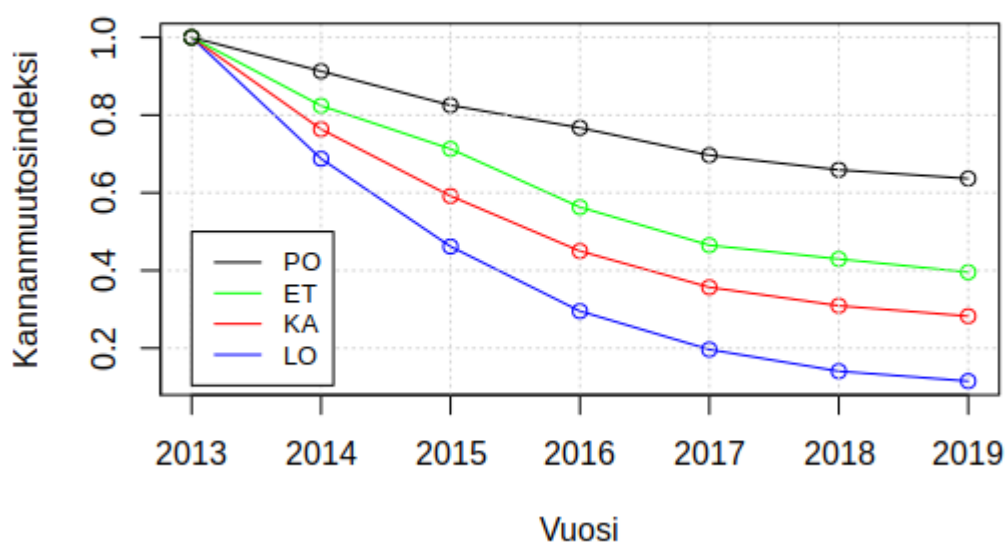
Kuva 6. Etelän, pohjoisen ja lounaan alueen elossasäilyvyysaste koko tutkimusjaksolle. Pystyviivat kuvaavat parametrin 95 % luottamusväliä (malli 2E).



Kuvat 7 a-d. Alueelliset elossasäilyvyysasteet vuosittaisina; (a) pohjoinen, (b) etelä, (c) lounas, (d) kaikki alueet yhdessä. Viivat kuvaavat 95 % luottamusväliä (a-c: malli 2F, d: malli 2B).

### 3.3. Alueellisen kannankehityksen tulokset

Alueelliset kannankehitysluvut vaihtelivat alueittain. Koko tarkastelujaksolla kannankehitys oli laskusuuntainen kaikilla alueilla eli kannat pienenevät (kuva 8). Suurinta lasku oli lounaassa ja vähäisintä pohjoisessa. Koko tutkimusalueella kanta laski tarkastelujaksona 2013–2019 keskimäärin 19,4 % vuodessa (95 % luottamusväli 16,7–22,1 %). Pohjoisessa kanta laski keskimäärin 7,6 % vuodessa (95 % luottamusväli 0,2–15,1), etelässä 8,3 % (95 % luottamusväli -0,0–16,7) ja lounaassa 26,5 % (95 % luottamusväli 19,0–34,0 %). Wald -testin mukaan alueiden kannankehitykset erosivat toisistaan merkitsevästi ( $p < 0,001$ ).



Kuva 8. Alueelliset kannankehitysluvut kannanmuutosindeksinä. PO = Pohjoinen, ET = Etelä, KA = Kaikki alueet, LO = Lounas. Vuosi 2013 on indeksi-arvoltaan 1 ja muut vuodet ovat tähän verrannollisia, eli esimerkiksi arvo 0,4 vuonna 2019 tarkoittaa kannan pienentyneen 60 % vuodesta 2013.

## 4. TULOSTEN TARKASTELU

Varpuslinnuilla aikuisten vuosittainen kuolevuus on tyypillisesti 40–60 % (Lack 1954). Aikuisten lintujen kuolevuutta lisäävät muun muassa ravinnon määrä ja laatu, saalistus, metsästys, elinympäristöjen tuhoutuminen ja saastuminen sekä taudit. Pienikokoisten varpuslintujen elämänsykli perustuu pääasiassa nopealle aikuistumiselle ja runsaalle jälkeläistuotannolle, mikä kompensoi lyhyttä elinikää. Tämän vuoksi niiden populaatiot usein pystyvät sopeutumaan nopeasti hetkellisesti lisääntyneeseen kuolevuuteen. Esimerkiksi jos muuttomatkalla kuolee paljon aikuisia lintuja, voi resursseja vapautua, ja seuraavan kesän poikasista useampi selviää aikuiseksi. Aina sopeutuminen ei kuitenkaan ole mahdollista, jolloin laji voi uhanalaistua tai kuolla sukupuuttoon (Newton 1998). Uhanalaisten lajien

elossasäilyvyyden tutkiminen on yksi askel uhanalaisuuden syiden ymmärtämisessä, ja sitä kautta suojelutoimien suunnittelussa (Sutherland ym. 2004).

Peltosirkku on tyypillinen nopean elämänsyklinin pieni varpuslintu. Yhdeksi sen uhanalaisuuden syyksi on epäilty vähentynyttä aikuisten elossasäilyvyyttä. Kuten seuraavassa luvussa osoitetaan, aikuisten peltosirkkukoiraiden elossasäilyvyys Suomessa vuosina 2013–2019 on kuitenkin verrattavissa muihin samankokoisiin pitkän matkan muuttaviin varpuslintulajeihin. Kannankehitysluvut ovat silti voimakkaasti laskusuuntaisia, jopa 19,4 % vuodessa tutkimusjakson 2013–2019 aikana kaikilla alueilla, eli uhanalaistumiskehitys jatkuu yhä toisten tekijöiden ajamana.

#### **4.1. Koiraiden elossasäilyvyys ei ole populaation pientymisen takana**

Lackin (1966) mukaan lintupopulaatioissa lisääntymisaste, eli parin tuottamien poikasten määrä, on luonnonvalinnan myötä se, mikä mahdollistaa suurimman mahdollisen poikasmäärän henkiinjäämisen. Tämän vuoksi lisääntymisaste vaihtelee vain vähän populaatiotiheyden mukaan. Kuolevuus on merkittävämpi populaatioiden kokoa säätelevä tekijä, sillä kuolevuus kasvaa populaatiotiheyden kasvaessa. Elossasäilyvyysasteen mittaaminen on siksi tärkeä tekijä populaatiokokojen muutosten ymmärtämisessä.

BTO:n (British Trust for Ornithology) RAS-ohjelmassa (Retrapping Adults for Survival; RAS results 2010) on tutkittu vuodesta 1999 alkaen pyyntijälleenpyyntimenetelmällä brittiläisten lintulajien aikuisten elossasäilyvyys- ja uudelleenhavaittavuusasteita. Peltosirkun kanssa suhteellisen samankokoisia (paino välillä 10–40 g) varpuslintuja, jotka ovat myös pitkän matkan muuttajia, oli ohjelmassa mukana 11 lajia. Näiden 11 lajin koiraiden yhteinen keskimääräinen elossasäilyvyysaste oli 41,9 % (vaihteluväli 29–54 %, keskihajonta 7,2) ja uudelleenhavaittavuusaste oli 50,4 % (vaihteluväli 16–84 %, keskihajonta 19,3)

Samanlaisia tuloksia on havaittu muilla saman kokoisilla pitkää matkaa muuttavilla varpuslinnuilla, muun muassa etelänsatakielikoirilla (*Luscinia megarhynchos*; Boano ym. 2004), elossasäilyvyysaste oli 44 % (keskivirhe +/-4 %) ja uudelleenhavaittavuusaste oli 65 % (keskivirhe +/-9 %), lehtokerttukoirilla (*Sylvia borin*; Shitikov ym. 2013) elossasäilyvyysaste vastaavasti 42 % (keskivirhe +/-11 %) ja uudelleenhavaittavuusaste alueesta riippuen 38 % (keskivirhe +/-24 %) tai 25 % (keskivirhe +/-13 %), sinikerttulikoirilla (*Dendroica caerulescens*; Sillett & Holmes 2002) elossasäilyvyysaste 51 % (keskivirhe +/-3 %) ja uudelleenhavaittavuusaste 93 % (keskivirhe +/-3 %) ja pikkulepinkäisillä (*Lanius collurio*;

Schaub ym. 2011). elossasäilyvyysaste 58 % (keskivirhe +/-3 %) ja uudelleenhavaittavuusaste 100 % (keskivirhe +/-0,1 %).

Elossasäilyvyysanalyysin tulos (43,3 % ja 100 % loggerittomilla linnuilla) on samansuuntainen mainittujen tutkimustulosten kanssa, mikä viittaa siihen, että Suomen peltosirkkukoiraiden ellossasäilyvyys ei ole ollut viime vuosina poikkeavan matala. Tämä antaa viitteitä siihen, että Suomen peltosirkkukoiraiden ellossasäilyvyys ei olisi niin alhainen, että se voisi yksin selittää viime vuosien voimakasta kannanlaskua. Tätä vahvistaa myös se, että alueelliset kannankehityserot eteläisen, lounaisen ja pohjoisen Suomen välillä olivat suuria, mutta ellossasäilyvydet olivat alueesta riippumatta lähes samanlaisia.

Toisaalta peltosirkkukoirailla on havaittu myös korkeampia ellossasäilyvyyksiä (Etelä-Norja; 62,9 % (95 % luottamusväli 59,3–67,1 %; (Steifetten & Dale 2006), yhtä korkealla, noin 100 %, uudelleenhavaittavuusasteella (Dale ym. 2005), mikä saattaa viitata siihen, että vaikka tämän gradun analyysin tulos on peltosirkun kokoiselle pitkän matkan muuttajalle tyypillinen, peltosirkkukoiraan lajityypillinen ellossasäilyvyys voi olla korkeampi.

Elossasäilyvytydessä ei havaittu merkitsevää vuosien välistä vaihtelua. Vaikka ellossasäilyvyys vaihteli vuosittain, varsinaisia romahdusvuosia tai erityisen korkean ellossasäilyvyyden vuosia ei ollut. Linnuilla ellossasäilyvyys mitä todennäköisemmin vaihtelee jonkin verran vuosien välillä (Newton 1998, Siriwardena ym. 1998). Tarkastelujaksolla saatetaan havaita selviä merkittävästi alentuneen ellossasäilyvyyden vuosia (Piha 2018), tai huomata että ellossasäilyvyyden vuosittaiset vaihtelut ovat vähäisiä, mutta jonkinasteinen vaihtelu on tyypillistä (Newton 1998).

Uudelleenhavaittavuusaste oli kaikissa malleissa 100 %, eli kaikki populaatiossa paikalla olleet merkityt peltosirkkukoiraat havaittiin. Elossasäilyvyys määriteltiin tässä tutkimuksessa nimenomaan todennäköisyydeksi, jolla koiraslintu palasi edellisen vuoden pesimäpaikalleen. Kyseessä on siis näennäinen eikä todellinen ellossasäilyvyys (Lebreton ym. 1992). Tämän määritelmän perusteella seitsemän pesimäpaikkaansa vaihtanutta yksilöä poistettiin aineistosta, mikä osaltaan korostaa tuloksissa ilmennyt uudelleenhavaitsemisen suurta todennäköisyyttä. Saatu tulos kuitenkin vahvistaa käsitystä siitä, että peltosirkku on hyvin paikkauskollinen. Lähemmäs 100 % uudelleenhavaittavuusasteeseen on päästy myös Norjan peltosirkkututkimuksissa (Dale ym. 2005), mikä viittaa siihen, että pesimäpaikoilleen palanneet peltosirkkukoiraat havaitaan intensiivisissä populaatiotutkimuksissa hyvin suurella todennäköisyydellä uudelleen.

## 4.2. Peltosirkun kutistuva maailma

Huolimatta Suomen peltosirkkukoiraiden muihin varpuslintulajeihin verrattavissa olevasta elossasäilyvyydestä, kannankehitysluvut olivat voimakkaasti laskusuuntaisia, mikä viittaa siihen, että peltosirkkupopulaatioiden vähenemisen taustalla on muita tekijöitä kuin aikuisten koiraspeltosirkkujen kuolleisuus. Näitä mahdollisia populaation koon säätelyn prosesseja voisivat täten olla aikuisten naaraiden ja nuorten lintujen (ensimmäistä kalenterivuottaan elävät linnut) kestäättömän suuri kuolleisuus tai kestäväälle populaatiokehitykselle liian heikko pesimätulos. Tulosten tulkintaa vahvistaa edelleen se, että elossasäilyvyydessä ei havaittu alueellisia vaihteluita, vaikka kannankehitys vaihteli alueiden välillä. Tämän perusteella ainakin jotkin populaatiokokoa säätelevät tekijät ilmenevät joillakin pesimäalueilla voimakkaammin kuin toisilla.

Lintupopulaatioissa on usein hieman enemmän koiraita kuin naaraita, sillä naarailla on korkeampi kuolleisuus (Lack 1954, Breitwisch 1989, Siriwardena ym. 1998, Donald 2007). Maatalousympäristöissä pesiville linnuille tulee oma lisänsä ihmistoiminnan vaikutuksesta, sillä esimerkiksi niittokoneet voivat lisätä hautovien lintunaaraiden kuolleisuutta (Grüebler ym. 2008). Fragmentoituneille lintupopulaatioille on tyypillistä voimakas koirasenemmistö, sillä koiraita kauemmas ensimmäisenä elinvuonnaan levittäytyvät (*natal dispersal*) naaraat eivät tällöin löydä koiraita ja katoavat herkemmin populaatiosta (Dale 2001). Tämä näkyy muun muassa Norjan peltosirkkupopulaatioissa, joissa vain 52 % koiraista pariutuu (Steifetten & Dale 2006). Suomen peltosirkkujen sukupuolijakauma on hieman paremmalla tolalla, sillä naaraita on kaksi kolmea koirasta kohden eli 66,7 % koiraista pariutuu (Jiguet ym. 2019b, M. Piha & T. Seimola, julkaisematon aineisto). Tämä voi olla yksi kannanlaskua selittävä tekijä ja saattaa selittää alueellisia eroja, etenkin jos sukupuolijakauma olisi joillakin alueilla koirasvoittoisempi kuin toisilla. Sukupuolijakauman alueellisia eroja ei kuitenkaan ole Suomessa tutkittu.

Jos naaraita on vähän tai alueen sukupuolijakautuma vääristynyt, voi tämä voimistaa peltosirkkukoiraiden levittäytymistä huolimatta lajityypillisestä paikkauskollisuudesta. Uudelle reviirille levittäytyvien koiraiden pesimämenestys on usein aluksi heikko (Steifetten & Dale 2012), mikä voi vaikuttaa kannankehitykseen. Maaseutu ympäristön muutosten myötä peltosirkuille mieluisten pesimäpaikkojen määrä on vähentynyt (Piha 2007, Vepsäläinen ym. 2005), joten levittäytyvien lintujen täytyy etsiä reviirejä yhä kauemmin, tai mahdollisesti tyytyä heikkolaatuisempiin pesimäympäristöihin.

Tämän työn aineistossa havaittiin seitsemän pesimäpaikkaansa vaihtanutta lintua, minkä perusteella peltosirkkukoirailla tapahtuu dispersointia lauluryhmien tai osapopulaatioiden välillä. Yksityiskohdat siitä, mitkä Suomen alueiden, osapopulaatioiden tai peltosirkkuyksilöiden ominaisuudet, pesimäympäristöjen mahdolliset muutokset tai esimerkiksi yksilöiden lisääntymismenestykset vaikuttavat pesimäkausien väliseen aikuisten dispersointiin, ovat peltosirkun osalta tuntemattomia.

On mahdollista, että aiemmin Suomen peltosirkkupopulaatiot ovat saaneet uusia yksilöitä muualta Euroopasta. Euroopan läntisten peltosirkkupopulaatioiden romahdettua geenivirta pohjoiseen on tyrehtynyt ja Pohjois-Euroopan peltosirkkupopulaatiot ovat eristäytyneet omaksi geneettiseksi klusterikseen (Moussy ym. 2018), minkä perusteella uusia peltosirkkuja ei juuri levittäydy Suomeen. Tämä voi johtaa geneettisen monimuotoisuuden vähenemiseen (Moussy ym. 2018), mikä vaikuttaa Suomen populaatioiden selviytymiskykyyn ja sitä kautta kannankehitykseen.

Nuorilla linnuilla on aikuisia lintuja korkeampi kuolleisuus (Lack 1954, Siriwardena ym. 1998) ja varpuslintujen kuolleisuus on suurta eritoten pesästä lähdön jälkeisinä viikkoina (Sillert & Holmes 2002, Thomson ym. 1999), mikä on havaittu myös peltosirkkuilla (Steiffen & Dale 2006). Peltosirkun poikasten kuolleisuutta lisää maatalousympäristö, jossa pesät poikasineen ja munineen saattavat tuhoutua, jos ne sattuvat työkoneiden alle, ja esimerkiksi käytössä olevat kasvinsuojeluaineet voivat vaikuttaa negatiivisesti peltolintujen ravinnon määrään ja laatuun (Piha 2007).

Kasvinsuojeluaineilla voi olla myös suoria vaikutuksia lintuihin. Esimerkiksi hyönteismyrkkinä siementen peittaukseen käytettävien neonikotinoidien on havaittu viivästyttävän sille altistuneiden lintujen muuttoa ja saavan ne laihtumaan, mikä vaikuttaa niin elossasäilyvyyteen kuin pesimämenestykseen (Eng ym. 2019). Täysikasvuisten peltosirkkujen ravinto koostuu pääosin siemenistä (Cramp & Perrins 1994), joten myös peltosirkut saattavat altistua neonikotinoideille, Suomessa lähinnä rypsin, rapsin ja sokerijuurikkaan siementen peittauksen myötä (Tukes 2018). Pesimätulosten heikentyminen voisi olla yksi selittävä tekijä kannanlaskun takana.

Kuolleisuus on monilla lajeilla kaikissa ikäryhmissä ja molemmilla sukupuolilla korkeampi pesimäkauden ulkopuolella (siniliitäjä *Halobaena caerulea*; Barbraud & Weimerskirch 2003, isosirri *Calidris canutus canutus*; Leyrer ym. 2013, sinikerttuli *Dendroica caerulescens*; Sillert & Holmes 2002), mutta eritoten naaraiden ja nuorten lintujen kuolleisuus voi olla muutto- ja talvehtimisalueilla korkeampaa tai ne voivat olla muuton jälkeen heikommassa kunnossa, jos dominoivimmat koiraat ja aikuiset varaavat itselleen

paremmat elinympäristöt (Marra 2000, Barra & Holmes 2001). Peltosirkkujen ekologiaa talvehtimisalueilla ei ole tutkittu (Vepsäläinen ym. 2005), mutta varsinkin naaraiden ja nuorten lintujen korkeampi kuolleisuus talvehtimisalueilla voisi myös selittää Suomessakin havaittua voimakasta kannanlaskua.

Mahdollisia tekijöitä Suomen peltosirkkujen kannanlaskun takana on monia, ja menneinä vuosikymmeninä tekijät ovat saattaneet olla toisia kuin nykyään. Esimerkiksi syksyinen metsästys Ranskassa saattoi olla aiemmin iso kuolevuutta lisäävä tekijä myös Suomen peltosirkuille, vaikka nykytiedon valossa se ei sitä tällä hetkellä ole (Jiguet ym. 2019b). Nykyisissä kannanlaskuun vaikuttavissa tekijöissä on myös paljon sellaista, mitä ei tiedetä, esimerkiksi peltosirkun ekologiaa talvehtimisalueilla ei ole juuri tutkittu (Vepsäläinen ym. 2005). Peltosirkun tiedetään muuttomatkalla ylittävän Saharan autiomaan useimmiten useamman lepotauon voimin, mutta osa populaatiosta ylittää Saharan keväisin yhdellä lentomatkalla. Peltosirkut myös lentävät Saharan ylitse verrattain matalalla, mikä voi lisätä vedenhukkaa (Jiguet ym. 2019a), ja ylipäätään Saharan ylittäminen saattaa vaikeutua, jos ilmastonmuutoksen myötä aavikoituminen lisääntyy. Tulevaisuudessa ilmastonmuutos saattaa olla yhä merkittävämpi tekijä myös pesimäseuduilla, sillä esimerkiksi alkukesän lämpötila tärkeä varpuslintujen poikastuottoon vaikuttava tekijä (Meller 2016).

#### **4.3. Loggerin vaikutus peltosirkkukoiraiden elossasäilyvyyteen ja muita mahdollisia virhelähteitä**

Loggerilintujen elossasäilyvyysaste oli alhaisempi (30,8 %; uudelleenhavaittavuusaste 100 %) kuin loggerittomilla linnuilla (43,3 %; 100 %), mikä tarkoittaa, että loggeri vaikutti linnun elossasäilyvyyteen. Brlíkin ym. (2020) tutkimuskatsauksen mukaan loggereilla on havaittu useissa tutkimuksissa olevan vaikutuksia sitä kantavan linnun elossasäilyvyyteen, mutta vaikutukset ovat lieviä ja niitä on mahdollista pienentää laitemallin sekä materiaalin tarkemmalla valinnalla. Loggerin negatiiviset vaikutukset linnun elossasäilyvyyteen olivat Brlíkin ym. (2020) mukaan sitä suuremmat mitä suurempi loggerin paino oli suhteessa linnun painoon. Samoin jos loggeri oli kiinnitetty joustavilla valjailla tai jos lintu oli pienikokoinen, vaikutti se linnun elossasäilyvyyteen negatiivisesti. Tämän gradun aineiston loggerit kiinnitettiin aluksi joustavilla silikoni- ja kumivaljailla, mutta ne eivät kestäneet, joten siirryttiin käyttämään itse solmittavia nylon-valjaita.

Vaikka loggerin vaikutukset havaittiin tutkimuskatsauksessa lieviksi, ei loggerin pidempiaikaisia vaikutuksia lintuysilöihin ja näiden selviytymiseen tunneta (Arlt ym. 2013),

mikä on syytä muistaa tulevissa tutkimuksissa. Tämän gradun aineistona käytetyssä tutkimuksessa loggerin käyttö oli perusteltua, sillä siinä saavutettiin haittoihin nähden paljon hyötyä (Jiguet ym. 2019b) ja loggerilintujen määrä oli vähäinen suhteessa Suomen peltosirkkujen populaatiokokoon. Toisaalta, osa haitoista saattoi jäädä huomaamatta, sillä myös loggerinsa pudottaneet peltosirkut laskettiin aineistoissa loggerillisiksi. Jos näiden peltosirkkujen elossasäilyvyys parantui loggerin pudottamisen myötä, saattoi se kompensoida negatiivisten vaikutusten näkymistä tuloksissa.

Loggerin negatiivisen vaikutuksen vuoksi loggerilinnut poistettiin aineistosta analysoitaessa alueellisia elossasäilyvyyksiä. Loggerilintuja oli alkuperäisen aineiston 210 linnusta puolet, joten aineisto pieneni tämän seurauksena huomattavasti. Eritoten etelän ja lounaan peltosirkkujen määrä väheni loggerilintujen poistamisen myötä, ja lopulta pohjoisen ja lounaan peltosirkkuja oli noin puolet etelän peltosirkkujen määrästä. Alueet olivat myös keskenään eri kokoisia ja peltosirkut eivät olleet jakautuneet tasaisesti alueiden sisällä. Aineiston pienuus ja sen epätasainen jakautuminen saattoivat vaikuttaa siihen etteivät mahdolliset alueelliset erot ilmenneet analyysissä.

#### **4.4. Johtopäätökset — katse pesimäseutuihin**

Peltosirkun kannanlasku on ollut Suomen maalintulajeista voimakkainta (Väisänen ym. 2018) ja sen sukupuutonuhka on Suomessa suuri (Jiguet ym. 2019b). Myös peltosirkun kanssa samankaltaisilla lajeilla, kuten muilla peltolinnuilla (Gregory ym. 2019) ja pitkän matkan muuttajilla (Bommel ym. 2004) on havaittu kantojen laskua, joskaan ei yhtä jyrkkää kuin peltosirkulla. Eurooppalaiseen lintulajistoon ei peltosirkun ohella kuulu peltosirkun ohella juuri muita siemensyöntein sopeutuneita trooppiseen Afrikkaan muuttavia varpuslintuja, minkä vuoksi kovin läheistä verrokkilajia ei ole.

Miksi juuri peltosirkku on romahtanut näin jyrkästi? Tarkkaa syytä ei tiedetä, mutta on mahdollista, että sama ilmiö tullaan näkemään myös muilla samankaltaisilla lajeilla, sillä uhanalaisilla lajeilla on usein samoja ominaisuuksia (Owen 2014). Siksi peltosirkkujen kannanlaskun takana olevat tekijät on tärkeää saada selville.

Tämän työn perusteella on pääteltävissä, että Suomen peltosirkkujen nykyisen kannanlaskun takana ovat ilmeisesti muut kuin aikuisten koiraiden kuolevuuteen vaikuttavat tekijät. Toisin sanoen kannanlaskun taustalla ovat todennäköisimmin aikuisten naaraiden ja nuorten lintujen elossasäilyvyyteen sekä pesinnän onnistumiseen vaikuttavat tekijät. Tulevaisuuden tutkimusta tulisi suunnata sen selvittämiseen, mitä nämä tekijät ovat ja kuinka



niiden vaikutusta voitaisiin vähentää. Analyysin perusteella joillain tekijöistä on myös Suomen sisällä alueellista vaihtelua, mikä viittaisi siihen, että eritoten pesimäseuduilla vaikuttavia tekijöitä kannattaisi tutkia.

Kuten Euroopassa, myös Suomessa maaseutu ympäristöjen luonto on köyhtynyt viime vuosikymmenien aikana (Tiainen ym. 2004a). Suomessa varsinaisia maaseutu ympäristön pesimälajeja on nelisenkymmentä, mutta lukuisat muutkin lajit käyttävät maaseutu ympäristöä jossain elinkiertoonsa vaiheessa. Muutosten vaikutukset linnustoon ovat olleet vaihtelevia: osa on taantunut, osa runsastunut ja joidenkin lajien kohdalla kannan koossa ei ole tapahtunut merkitseviä muutoksia (Tiainen ym. 2004b). Suurin osa lajeista on runsastunut 2000-luvulla (Tiainen ym. 2014), mutta samalla uhanalaisten ja silmälläpidettävien lajien määrä on kasvanut (Tiainen ym. 2019). Peltosirkkujen pesimäseutujen tutkimus ja siihen perustuva pesintämenestystä tai muuten kannan tilaa parantava suojelusuunnitelma ei siten luultavasti auttaisi pelastamaan vain yhden lajin uhkaavalta sukupuutolta, vaan kenties parantaisi useammankin lajin elinolosuhteita. Tämä voisi olla yksi askel kohti monimuotoisempaa maatalousympäristöä, joka tarjoaa myös arvokkaita ekosysteemipalveluita.

Vaikka peltosirkun muuttoreiteillä ja talvehtimisalueilla olisi ongelmia, paikallisesti voimme vaikuttaa parhaiten pesimämenetyksen parantamiseen. Laatimalla lähivuosina suojelusuunnitelman, jossa olisi helposti implementoitavia pesimämenestystä tukevia toimenpiteitä, voimme vaikuttaa peltosirkun kannankehitykseen ja saada kehityksen suunnan kääntymään.

## **6. KIITOKSET**

Kiitos ohjaajalleni Markus Pihalle inspiroivasta graduaiheesta, erinomaisesta ohjauksesta ja avusta tutkielmani teossa. Kiitos myös kaikille vuosien 2013–2019 peltosirkkurengastajille sitkeästä maastotyöstä, ja eritoten kiitos kaikille noina vuosina rengastetuille 210 peltosirkulle osallistumisesta tutkimukseen.

Erityiset kiitokset teknisestä avusta, vertaistuesta, oikoluvusta, pilkunviilauksesta ja yleisestä tsemppauksesta Mikolle, Timolle, Samulille, Piialle, Anna L:lle, Antille, Ainolle, Anna K:lle, Anna N:lle, Paulalle ja Hannulle.

Lisäksi kiitos Viikin kirjaston kolmannen kerroksen kirkasvalolampulle ja Unicafen kahville hereillä pitämisestä.

## 7. LÄHDEVIITTEET

- Arlt, D., Low, M. & Pärt, T. 2013: Effect of Geolocators on Migration and Subsequent Breeding Performance of a Long-Distance Passerine Migrant. — PLoS ONE 8: e82316. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0082316>
- Barbraud, C. & Weimerskirch, H. 2003: Climate and density shape population dynamics of a marine top predator. — Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences 270: 2111–2116. <https://doi.org/10.1098/rspb.2003.2488>
- BirdLife International 2017: *Emberiza hortulana* (amended version of 2016 assessment). The IUCN Red List of Threatened Species 2017 [WWW Document]. IUCN Red List Threat. Species. URL <https://www.iucnredlist.org/en> (accessed 11.29.19).
- Bogaart, P., Loo, M. & Pannekoek, J. 2016: rtrim: Trends and Indices for Monitoring Data. — R package version 2.0.6.
- Bommel, F. van, Burfield, I., Ellermaa, M., Hario, M., Lehtiniemi, T., Lindén, H., Valkama, J. & Väisänen, R. A. (toim.) 2004: Birds in Europe : population estimates, trends and conservation status, BirdLife conservation series. Bird Life International, Cambridge.
- Breitwisch, R. 1989: Mortality patterns, sex ratios, and parental investment in monogamous birds. Springer Science & Business Media.
- Brlík, V., Koleček, J., Burgess, M., Hahn, S., Humple, D., Krist, M., Ouwehand, J., Weiser, E. L., Adamík, P., Alves, J. A., Arlt, D., Barišić, S., Becker, D., Belda, E. J., Beran, V., Both, C., Bravo, S. P., Briedis, M., Chutný, B., Čiković, D., Cooper, N. W., Costa, J. S., Cueto, V. R., Emmenegger, T., Fraser, K., Gilg, O., Guerrero, M., Hallworth, M. T., Hewson, C., Jiguet, F., Johnson, J. A., Kelly, T., Kishkinev, D., Leconte, M., Lislevand, T., Lisovski, S., López, C., McFarland, K. P., Marra, P. P., Matsuoka, S. M., Matyjasiak, P., Meier, C. M., Metzger, B., Monrós, J. S., Neumann, R., Newman, A., Norris, R., Pärt, T., Pavel, V., Perlut, N., Piha, M., Reneerkens, J., Rimmer, C. C., Roberto-Charron, A., Scandolara, C., Sokolova, N., Takenaka, M., Tolkmitt, D., van Oosten, H., Wellbrock, A. H. J., Wheeler, H., van der Winden, J., Witte, K., Woodworth, B. K. & Procházka, P. 2020: Weak effects of geolocators on small birds: A meta-analysis controlled for phylogeny and publication bias. — Journal of Animal Ecology 89: 207–220. <https://doi.org/10.1111/1365-2656.12962>
- Bryant, D. M. & Jones, G. 1995: Morphological changes in a population of Sand Martins *Riparia riparia* associated with fluctuations in population size. — Bird Study 42: 57–65. <https://doi.org/10.1080/00063659509477149>
- Burnham, K. P. & Anderson, D. R. 2002: Model selection and multimodel inference : a practical information-theoretic approach, Second edition. ed. Springer, New York.
- Calvo, B. & Furness, R. W. 1992: A review of the use and the effects of marks and devices on birds. — Ringing Migr. 13: 129–151. <https://doi.org/10.1080/03078698.1992.9674036>
- Cramp, S. & Perrins, C. M. (toim.) 1994: Handbook of the birds of Europe, the Middle East and North Africa : the birds of the Western Palearctic. Vol. 9, Buntings and new world warblers. Oxford University Press, Oxford.
- Dale, S. 2001: Female-biased dispersal, low female recruitment, unpaired males, and the extinction of small and isolated bird populations. — Oikos 92: 344–356. <https://doi.org/10.1034/j.1600-0706.2001.920217.x>
- Dale, S., Lunde, A. & Steifetten, Ø. 2005: Longer breeding dispersal than natal dispersal in the ortolan bunting. — Behavioral Ecology 16, 20–24. <https://doi.org/10.1093/beheco/arh129>
- Donald, P. F., Green, R. E. & Heath, M. F. 2001: Agricultural intensification and the collapse of Europe's farmland bird populations. — Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences 268: 25–29. <https://doi.org/10.1098/rspb.2000.1325>

- Donald, P. F. 2007: Adult sex ratios in wild bird populations. — *Ibis* 149: 671–692. <https://doi.org/10.1111/j.1474-919X.2007.00724.x>
- Donald, P. F., Sanderson, F. J., Burfield, I. J. & van Bommel, F. P. J. 2006: Further evidence of continent-wide impacts of agricultural intensification on European farmland birds, 1990–2000. — *Agriculture, Ecosystems & Environment* 116: 189–196. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2006.02.007>
- EEA 2005: Agriculture and environment in EU-15 - the IRENA indicator report. European Environment Agency.
- Elkins, N. 2010: Weather and bird behaviour. Bloomsbury Publishing.
- Eng, M. L., Stutchbury, B. J. M. & Morrissey, C. A. 2019: A neonicotinoid insecticide reduces fueling and delays migration in songbirds. — *Science* 365: 1177–1180. <https://doi.org/10.1126/science.aaw9419>
- Engle, R. F. 1984: Wald, likelihood ratio, and Lagrange multiplier tests in econometrics. — *Handbook of Econometrics* 2: 775–826.
- Gidstam, B. 1994: Pohjolan lintukirja, 7. uud. p. ed. Otava.
- Gregory, R. D., Skorpilova, J., Vorisek, P. & Butler, S. 2019: An analysis of trends, uncertainty and species selection shows contrasting trends of widespread forest and farmland birds in Europe. — *Ecological Indicators* 103: 676–687. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.04.064>
- Gregory, R. D., van Strien, A., Vorisek, P., Gmelig Meyling, A. W., Noble, D. G., Foppen, R. P. B. & Gibbons, D. W. 2005: Developing indicators for European birds. — *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 360: 269–288. <https://doi.org/10.1098/rstb.2004.1602>
- Grüebler, M. U., Schuler, H., Müller, M., Spaar, R., Horch, P. & Naef-Daenzer, B. 2008: Female biased mortality caused by anthropogenic nest loss contributes to population decline and adult sex ratio of a meadow bird. — *Biological Conservation* 141: 3040–3049. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2008.09.008>
- Hyvärinen, E., Juslén, A., Kemppainen, E., Uddström, A., & Liukko, U.-M. (toim.) 2019: Suomen lajien uhanalaisuus: punainen kirja 2019 - The 2019 red list of Finnish species. Ympäristöministeriö, Helsinki.
- Jiguet, F., Arlettaz, R., Bauer, H.-G., Belik, V., Copete, J. L., Couzi, L., Czajkowski, M. A., Dale, S., Dombrovski, V., Elts, J., Ferrand, Y., Hargues, R., Kirwan, G. M., Minkevicius, S., Piha, M., Selstam, G., Skierczyński, M., Sibley, J.-P. & Sokolov, A. 2016: An update of the European breeding population sizes and trends of the Ortolan Bunting (*Emberiza hortulana*). — *Ornis Fennica* 93: 186–196.
- Jiguet, F., Burgess, M., Thorup, K., Conway, G., Matos, J. L. A., Barber, L., Black, J., Burton, N., Castelló, J., Clewley, G., Copete, J. L., Czajkowski, M. A., Dale, S., Davis, T., Dombrovski, V., Drew, M., Elts, J., Gilson, V., Grzegorzczak, E., Henderson, I., Holdsworth, M., Husbands, R., Lorrillière, R., Marja, R., Minkevicius, S., Moussy, C., Olsson, P., Onrubia, A., Pérez, M., Piacentini, J., Piha, M., Pons, J.-M., Procházka, P., Raković, M., Robins, H., Seimola, T., Selstam, G., Skierczyński, M., Sondell, J., Thibault, J.-C., Tøttrup, A. P., Walker, J. & Hewson, C. 2019a: Desert crossing strategies of migrant songbirds vary between and within species. — *Scientific reports* 9: 1–12. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-56677-4>
- Jiguet, F., Robert, A., Lorrillière, R., Hobson, K. A., Kardynal, K. J., Arlettaz, R., Bairlein, F., Belik, V., Bernardy, P., Copete, J. L., Czajkowski, M. A., Dale, S., Dombrovski, V., Ducros, D., Efrat, R., Elts, J., Ferrand, Y., Marja, R., Minkevicius, S., Olsson, P., Pérez, M., Piha, M., Raković, M., Schmaljohann, H., Seimola, T., Selstam, G., Sibley, J.-P., Skierczyński, M., Sokolov, A., Sondell, J. & Moussy, C. 2019b: Unravelling

- migration connectivity reveals unsustainable hunting of the declining ortolan bunting. — *Science Advances* 5:, eaau2642. <https://doi.org/10.1126/sciadv.aau2642>
- Lack, D. L. 1954: *The Natural Regulation of Animal Numbers*. Clarendon Press.
- Lack, D. L. 1966: *Population studies of birds*. Clarendon Press.
- Lebreton, J.-D., Burnham, K. P., Clobert, J. & Anderson, D. R. 1992: Modeling Survival and Testing Biological Hypotheses Using Marked Animals: A Unified Approach with Case Studies. — *Ecological Monographs* 62: 67–118. <https://doi.org/10.2307/2937171>
- Lebreton, J.-D., Pradel, R. & Clobert, J. 1993: The statistical analysis of survival in animal populations. — *Trends in Ecology & Evolution* 8: 91–95. [https://doi.org/10.1016/0169-5347\(93\)90058-W](https://doi.org/10.1016/0169-5347(93)90058-W)
- Leyrer, J., Lok, T., Brugge, M., Spaans, B., Sandercock, B. K. & Piersma, T. 2013: Mortality within the annual cycle: seasonal survival patterns in Afro-Siberian Red Knots *Calidris canutus canutus*. — *Journal of Ornithology* 154: 933–943. <https://doi.org/10.1007/s10336-013-0959-y>
- Lok, T., Overdijk, O., Tinbergen, J. M. & Piersma, T. 2013: Seasonal variation in density dependence in age-specific survival of a long-distance migrant. — *Ecology* 94: 2358–2369. <https://doi.org/10.1890/12-1914.1>
- Marra, P. P. 2000: The role of behavioral dominance in structuring patterns of habitat occupancy in a migrant bird during the nonbreeding season. — *Behavioral Ecology* 11: 299–308. <https://doi.org/10.1093/beheco/11.3.299>
- Marra, P.P. & Holmes, R. T. 2001: Consequences of Dominance-Mediated Habitat Segregation in American Redstarts During the Nonbreeding Season. — *The Auk* 118: 92–104. <https://doi.org/10.1093/auk/118.1.92>
- Meller, K. 2016: The impacts of temperature on the long-term variation in migration and breeding performance of birds. Väitöskirja, Helsingin yliopisto, Luonnontieteellinen keskusmuseo, Bio- ja ympäristötieteellinen tiedekunta, Biotieteiden laitos.
- Menz, M. & Arlettaz, R. 2012: The precipitous decline of the ortolan bunting *Emberiza hortulana*: Time to build on scientific evidence to inform conservation management. — *Oryx* 46: 122–129.
- Morrison, M. L. 1986: Bird Populations as Indicators of Environmental Change. ss. pp. 429–451 teoksessa: Johnston, R.F. (toim.), *Current Ornithology: Volume 3, Current Ornithology*. Springer US, Boston, MA. [https://doi.org/10.1007/978-1-4615-6784-4\\_10](https://doi.org/10.1007/978-1-4615-6784-4_10)
- Moussy, C., Arlettaz, R., Copete, J. L., Dale, S., Dombrovski, V., Elts, J., Lorrillière, R., Marja, R., Pasquet, E., Piha, M., Seimola, T., Selstam, G. & Jiguet, F. 2018: The genetic structure of the European breeding populations of a declining farmland bird, the ortolan bunting (*Emberiza hortulana*), reveals conservation priorities. — *Conservation Genetics* 19, 909–922. <https://doi.org/10.1007/s10592-018-1064-9>
- Newton, I. 2010: *The Migration Ecology of Birds*. Elsevier.
- Newton, I. 1998: *Population Limitation in Birds*. Academic Press.
- Newton, I. 1979: *Population Ecology of Raptors*. T & AD Poyser.
- Owen, N. 2014: Life on the edge. — *Significance* 11: 26–29. <https://doi.org/10.1111/j.1740-9713.2014.00780.x>
- Peach, W., Baillie, S. & Underhill, L. 1991: Survival of British Sedge Warblers *Acrocephalus schoenobaenus* in relation to west African rainfall. — *Ibis* 133: 300–305. <https://doi.org/10.1111/j.1474-919X.1991.tb04573.x>
- Piha, M. 2018: Sisämaan seurantapyynti 1986–2017: varpuslintujen kannankehitys, poikastuotto ja elossasäilyvyys. — *Linnut-vuosikirja 2017*: 48–55.

- Piha, M. 2007: Spatial and temporal determinants of Finnish farmland bird populations. Väitöskirja, Helsingin yliopisto, Luonnontieteellinen keskusmuseo & Bio- ja ympäristötieteiden laitos.
- QGIS Development Team 2018: QGIS Development Team 2018. QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. <http://qgis.osgeo.org>.
- R Core Team 2019: R: a language and environment for statistical computing, version 3.6.2. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing; 2019.
- RAS results [WWW Document] 2010: . BTO - British Trust for Ornithology. URL <https://www.bto.org/our-science/projects/ringing/surveys/ras/results> (accessed 4.1.20).
- Robinson, W.D., Bowlin, M.S., Bisson, I., Shamoun Baranes, J., Thorup, K., Diehl, R.H., Kunz, T.H., Mabey, S. & Winkler, D.W. 2009: Integrating concepts and technologies to advance the study of bird migration. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 8, 354–361.
- Rodenhouse, N.L., Sillett, T.S., Doran, P.J. & Holmes, R.T. 2003: Multiple density-dependence mechanisms regulate a migratory bird population during the breeding season. — *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 270: 2105–2110. <https://doi.org/10.1098/rspb.2003.2438>
- Sillett, T. S. & Holmes, R. T. 2002: Variation in survivorship of a migratory songbird throughout its annual cycle. — *Journal of Animal Ecology* 71: 296–308. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2656.2002.00599.x>
- Siriwardena, G. M., Baillie, S. R. & Wilson, J. D. 1998: Variation in the survival rates of some British passerines with respect to their population trends on farmland. — *Bird Study* 45: 276–292. <https://doi.org/10.1080/00063659809461099>
- Steifetten, Ø. & Dale, S. 2012: Dispersal of male ortolan buntings away from areas with low female density and a severely male-biased sex ratio. — *Oecologia* 168: 53–60. <https://doi.org/10.1007/s00442-011-2082-1>
- Steifetten, Ø. & Dale, S. 2006: Viability of an endangered population of ortolan buntings: The effect of a skewed operational sex ratio. — *Biological Conservation* 132: 88–97.
- Stolt, B. 1977: On the migration of the ortolan bunting, *Emberiza hortulana* L. *Zoon* 5: 51–61
- Sutherland, W. J., Newton, I. & Green, R. 2004: *Bird Ecology and Conservation: A Handbook of Techniques*. OUP Oxford.
- Szép, T. 1995: Relationship between west African rainfall and the survival of central European Sand Martins *Riparia riparia*. — *Ibis* 137: 162–168. <https://doi.org/10.1111/j.1474-919X.1995.tb03235.x>
- Thomson, D. L., Baillie, S. R. & Peach, W. J. 1999: A method for studying post-fledging survival rates using data from ringing recoveries. — *Bird Study* 46: S104–S111. <https://doi.org/10.1080/00063659909477237>
- Tiainen, J., Kuussaari, M., Laurila, I. & Toivonen, T., 2004a: Millainen on suomalainen maatalousympäristö? ss. 16-23 teoksessa: J. Tiainen, M. Kuussaari, I. P. Laurila, & T. Toivonen (toim.), *Elämää pellossa - Suomen maatalousympäristön monimuotoisuus*. Helsinki: Fibre & Edita.
- Tiainen, J., Lehikoinen, A. & Piha, M. 2014: Eroavatko kartoitus- ja linjalaskennoista johdetut maatalousympäristön indikaattorit toisistaan? — *Linnut-vuosikirja 2013*: 66–71.
- Tiainen, J., Lehtiniemi, T., Lehikoinen, A., Jukarainen, A., Mikkola-Roos, M., Below, A., Pessa, J., Rajasärkkä, A., Rintala, J., Rusanen, P., Sirkiä, P. & Valkama, J. 2019: Suomen lintujen uhanalaisuus 2019. — *Linnut-vuosikirja 2018*: 14–25.
- Tiainen, J., Piha, M. V., Piironen, J., Rintala, J., & Vepsäläinen, V. 2004b: Maatalousympäristön pesimälinnusto. ss. 147–163 teoksessa: J. Tiainen, M.

- Kuussaari, I. P. Laurila, & T. Toivonen (toim.), *Elämää pellossa - Suomen maatalousympäristön monimuotoisuus*. Helsinki: Fibre & Edita.
- Tukes 2018: Neonikotinoideja korvataan öljykasvien kasvinsuojelussa [WWW Document]. Turvallisuus ja Kemikaalivirasto Tukes. URL [https://tukes.fi/artikkeli/-/asset\\_publisher/neonikotinoideja-korvataan-oljykasvien-kasvinsuojelussa](https://tukes.fi/artikkeli/-/asset_publisher/neonikotinoideja-korvataan-oljykasvien-kasvinsuojelussa) (accessed 4.27.20).
- Väisänen, R. A., Lehtikoinen, A. & Sirkiä, P. 2018: Suomen pesivän maallinnuston kannanvaihtelut 1975-2017. — *Linnut-vuosikirja 2017*: 16–31.
- Valkama, J., Vepsäläinen, V. & Lehtikoinen, A. 2011: Suomen III Lintuatlas. — Luonnontieteellinen keskusmuseo ja ympäristöministeriö. <<http://atlas3.lintuatlas.fi>> (viitattu [25.10.2019]) ISBN 978-952-10-6918-5.
- Vepsäläinen, V., Pakkala, T., Piha, M. & Tiainen, J. 2007: The importance of breeding groups for territory occupancy in a declining population of a farmland passerine bird. — *Annales Zoologici Fennici* 44: 8–19.
- Vepsäläinen, V., Pakkala, T., Piha, M. & Tiainen, J. 2005: Population crash of the ortolan bunting *Emberiza hortulana* in agricultural landscapes of southern Finland. — *Annales Zoologici Fennici* 42: 91–107.
- Verner, J. 1992: Data Needs for Avian Conservation Biology: Have We Avoided Critical Research? — *The Condor* 94: 301–303. <https://doi.org/10.2307/1368825>
- White, G. C. & Burnham, K. P. 1999: Program MARK: survival estimation from populations of marked animals. — *Bird Study* 46: S120–S139.
- Winstanley, D. 1974: Where Have All the Whitethroats Gone? — *Bird Study* 21: 1–14. <https://doi.org/10.1080/00063657409476397>